台灣農業研究

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

Vol.72 No.4 2023

Feature Articles

277 Climate Change Mitigation Strategies of Rice Insect Pests in Taiwan
Po-Yu Lai, Yu-Bing Huang, Yaw-Jen Dong, Li-Hsin Wu, and Shou-Horng Huang

289 *Phytophthora* Species in Taiwan and Their Host Range: A Review
Jin-Hsing Huang, Chu-Ping Lin, Chiao-Wen Huang, Jyh-Nong Tsai, and Pao-Jen Ann

Research Articles

317 Growth Evaluation of Dotted Duckmeat (*Landoltia punctata*) Cultivated in Swine Wastewater
Bo-Wen Lin, Shu-Chen Chang, Yahn-Chir Lee, Chi-Ling Chen, and Hsien-Tzung Shih

333 Exploring the Impact of Transgenic Rice Straw Decomposition on Soil Microbial Composition
Cheng-Ping Kuan, Ying-Chuan Chiang, Chung-Jen Hsiao, and Ching-Shan Tseng

343 Differences in Lady Beetle Species Composition between Conventional and Organic Farming Environments in Taiwan
Yaw-Jen Dong, Wan-Hsiu Yang, Pei-Chen Hsu, Chi-Feng Lee, Mei-Jung Tseng, Jen-Yu Chang, Chi-Ling Chen, and Hsien-Tzung Shih

Short Communication

359 First Report of *Pseudomonas tolaasii* Causing Bacterial Brown Blotch of White *Hypsizygus marmoreus* in Taiwan
Shiang-Shiuan Yu and Yun-Sheng Lu

ISSN 2790-086X

Published by Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture

台灣農業研究 JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH Vol.72 No.4 2023

ISSN 2790-086X
DOI:10.6156/JTAR

台灣農業研究

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

Vol.72 No.4 2023

專題論述

277 因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適
賴柏羽、黃毓斌、董耀仁、吳立心、黃守宏

289 台灣作物疫病菌種類與其寄主範圍
黃晉興、林筑蘋、黃巧雯、蔡志濃、安寶貞

研究報告

317 少根紫萍 (*Landoltia punctata*) 在養豬放流水中的生長評估
林柏文、張淑貞、李艷琪、陳琦玲、石憲宗

333 探討基因轉殖水稻稻稈殘體對土壤微生物相的影響
關政平、江瑩娟、蕭崇仁、曾清山

343 台灣慣行與有機農作環境中瓢蟲種類組成差異
董耀仁、楊婉秀、許北辰、李奇峰、曾美容、張仁育、陳琦玲、石憲宗

研究簡報

359 首次報導*Pseudomonas tolaasii*導致台灣白精靈菇細菌性褐菇病
余祥萱、呂昀陞

農業部農業試驗所出版

《台灣農業研究》編審會

總編輯

謝廷芳／農業試驗所主任祕書室

副總編輯

石憲宗／農業試驗所應用動物組

領域主編 (按筆劃序)

王強生／國立中興大學農藝學系
古新梅／國立中興大學農藝學系
安寶貞／農業試驗所植物病理組
呂秀英／苗栗區農業改良場
杜宜殷／國立台灣大學園藝暨景觀學系
林彥蓉／國立台灣大學農藝學系
林慧玲／國立中興大學園藝學系
侯豐男／國立中興大學昆蟲學系
陳右人／國立台灣大學園藝暨景觀學系
陳世銘／國立台灣大學生物產業機電工程學系
陳健忠／農業試驗所應用動物組
陳琦玲／農業試驗所農業化學組
張永和／私立靜宜大學食品營養系
張瑞璋／農業藥物試驗所
莊愷瑋／國立嘉義大學農藝學系
郭寶錚／國立中興大學農藝學系
黃炳文／國立中興大學應用經濟學系
黃振文／國立中興大學植物病理學系
黃裕銘／國立中興大學土壤環境科學系
黃肇家／農業試驗所作物組
楊正澤／國立中興大學昆蟲學系
楊純明／私立明道大學精緻農業學系
路光暉／國立中興大學昆蟲學系
鄒裕民／國立中興大學土壤環境科學系
劉力瑜／國立台灣大學農藝學系
蔡致榮／農業試驗所
鍾文鑫／國立中興大學植物病理學系
顏國欽／國立中興大學食品暨應用生物科技學系

英文主編 (按筆劃序)

王寅東／美國德州農工大學
張宗仁／美國喬治亞大學
楊景程／美國佛吉尼亞理工大學
鍾光仁／國立中興大學植物病理學系

編輯助理

王立蓉／《台灣農業研究》期刊編輯室
黃鈺君／《台灣農業研究》期刊編輯室

台灣農業研究

第七十二卷　第四期　　　　中華民國一一二年十二月三十一日

出版者　農業部農業試驗所
發行人　林學詩
總編輯　謝廷芳
地址　413008 台中市霧峰區萬豐里中正路 189 號
網址　https://www.tari.gov.tw/jtar
電話　(04)2331-7236
E-mail　jtar@tari.gov.tw
線上投審稿系統　https://www.ipress.tw/J0042
台灣農業研究之稿約格式內容，詳自農業部農業試驗所首頁下列路徑下載：文宣出版 > 台灣農業研究 > 出版品稿約

編印　華藝學術出版部
地址　234634 新北市永和區成功路一段 80 號 18 樓
電話　(02)2926-6006
E-mail　press@airiti.com

定價　新台幣一七五元
展售門市　1. 國家書店 / 104472 台北市松江路 209 號 1 樓 / 電話 : (02)2518-0207
國家網路書店 http://www.govbooks.com.tw
2. 五南文化廣場 / 400002 台中市中山路 6 號 / 電話 : (04)2226-0330

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):277–287 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0001

專題論述

因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適

賴柏羽[1]　黃毓斌[2]　董耀仁[2]　吳立心[3]　黃守宏[4,*]

摘要

賴柏羽、黃毓斌、董耀仁、吳立心、黃守宏。2023。因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適。台灣農業研究 72(4):277–287。

近年來全球溫度上升、二氧化碳濃度增加以及降雨頻率與強度異常變化等，對昆蟲造成分布、生理、物候學及族群變動等直接影響，亦會影響與昆蟲有關的營養階層，再間接影響蟲體表現，各因子與昆蟲間之關係錯綜複雜且難以預測。全球氣候暖化將使台灣環境變成熱帶氣候，並使一年多世代的水稻害蟲更適合發育與繁殖。諸多研究已建立氣候變遷對害蟲之生態學、物候學及監測預警等模擬系統，並進行因應氣候變遷對農業生產之影響評估。對台灣水稻蟲害管理策略調適之建議，除加強長期監測水稻害蟲族群動態外，需依各地區環境生態，發展適合當地種植之水稻品種與栽培模式等，選育具氣候韌性之抗性品種，保育與創造適合天敵之棲所環境，使用對環境安全、對目標害蟲有效且對天敵無害 (低毒) 之藥劑種類，篩選具新且多重作用機制的藥劑等方法，以因應未來氣候變遷過程，能提高蟲害管理的效能，達到抑制害蟲族群密度於經濟為害基準之下。

關鍵詞：氣候變遷、台灣、水稻、蟲害管理。

前言

氣候急遽變遷與社會經濟、人口成長、政治及文化興衰彼此間密切相關。依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 第 6 次評估總結報告指出，2011–2020 年全球地表平均溫度較 1850–1900 年高 1.09℃ (0.95–1.20℃)，若未能加強因應氣候變遷相關調適措施的執行，本世紀末溫度可能上升達 3.2℃ (2.2–3.5℃)；至 2019 年大氣中二氧化碳濃度 (410 mg L^{-1}) 為過去 200 萬年來最高，並可能持續上升，包含甲烷 (1,866 mg L^{-1}) 與一氧化二氮 (332 mg L^{-1}) 等溫室氣體濃度亦為歷年來最高，且據可信證據顯示上述由人類影響所導致全球暖化與極端天氣事件發生的關聯性，特別是極端降雨、乾旱、熱帶氣旋及複合極端事件等 (IPCC 2023)，其中『降雨量』雖然為台灣氣候變遷災害最主要的驅動因子，但未來在台灣總體降雨量沒有明顯的變化下，降雨頻率與強度增加，由極端暴雨事件所造成的淹水災害風險也可能因此增加，同時連續不降雨的最大日數 (降雨量少於 1 mm) 平均將增加 5.3 d，將導致我國乾旱的災害風險增加，據此台灣正逐漸朝向平均溫度高與降雨不平均之極端氣候趨勢發展 (Hsu *et al*. 2011; Shih *et al*. 2011)。

農業生產特別容易受到溫度上升、降水模式改變及二氧化碳濃度增加等氣候因子變化所影響，從作物生長乃至於農業生態系統層面皆影響甚鉅，使農業活動增加各種不確定性，在

投稿日期：2023 年 7 月 17 日；接受日期：2023 年 8 月 22 日。
* 通訊作者：shhuang@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系助理研究員。台灣 嘉義市。
[2] 農業部農業試驗所應用動物組副研究員。台灣 台中市。
[3] 國立屏東科技大學植物醫學系副教授。台灣 屏東縣。
[4] 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系副研究員。台灣 嘉義市。

氣候變遷衝擊下，未來全球農作物生產可能朝向農地減少、水資源短缺及農產品價格波動加大等負面趨勢發展，衝擊人類糧食生產潛能，進而將影響全球的糧食供應體系，加上未來全球人口增長而糧食供給短缺的可能性，更將使得氣候變遷與糧食安全兩項議題密不可分 (IPCC 2019)。近年國內糧食作物生產屢受氣象災害侵襲，另因耕地面積破碎、國人飲食習慣改變及農業勞動力不足等諸多因素，多數糧食仍依賴進口，糧食自給率僅 33.5%，其中水稻為國內目前仍可自足生產的重要糧食作物，因此除維持現有農作物生產面積與生產能力，增加單位面積產量外，尚需評估現有糧食生產現況與未來所面臨之問題，尤其是針對氣候變遷趨勢下，研擬糧食安全所需之調適策略，以減少災害所造成之損失，並確保糧食安全與農業永續發展 (Huang *et al*. 2009)。

作物害蟲為氣候變遷衝擊下影響作物生產之重大限制因子之一，作物與其相應的害蟲均受氣候變化的直接與間接影響，直接影響包含分布範圍、生理 (physiology)、物候學 (phenology)、族群變動 (population dynamics) 及生活史 (life history) 等，其中溫度可能是影響昆蟲行為、分布、發育及繁殖的最重要環境因素；其他如二氧化碳濃度增加與土壤水分的減少等，則可能影響害蟲的族群動態，提高作物受害程度。另外，氣候變化創造新的生態棲位 (niche)，使害蟲在新的地理區域轉移並建立族群提供機會。昆蟲直接受到影響之外，更進一步影響到與昆蟲本身有關的營養階層關係，如寄主植物、昆蟲及其天敵 (包含蟲生病原等)，再間接影響蟲體表現，各因子與昆蟲間之關係錯綜複雜。

氣候變遷使害蟲威脅糧食安全，是所有國家與地區共同面臨的全球性問題，可預期未來將持續面臨新的蟲害問題。國內外諸多研究已建立氣候變遷對農業害蟲之生物學、生態學、物候學及監測預警制度等研究，並進行因應氣候變遷對農業生產之影響評估等，為研擬氣候變遷的相關調適作為奠定科學論述基礎。本文除綜合整理氣候變遷各因子對害蟲的可能影響，並分析害蟲對作物為害的情況，從中提出台灣未來水稻蟲害管理調適策略，以作為研擬因應氣候變遷之水稻有害生物調適作為提供政策所需的科學論述參考。

氣候變遷對昆蟲的可能影響

溫度對昆蟲的影響

昆蟲生理表現

昆蟲為變溫動物 (poikilothermic animal)，在適存範圍內隨溫度變化而調節體溫，溫度變化也會影響昆蟲行為、發育、存活及生殖 (Chu & Chao 2000)，而昆蟲的不同發育策略亦隨著溫度改變而有所調整 (Bale *et al*. 2002)。全球平均溫度逐漸升高，對生存於發育適溫以下之昆蟲種類而言，其有效發育溫度快速累積達到有效積溫 (effective accumulated temperature; K) ，將有利於族群增長，但 1 年 1 世代與多年 1 世代的種類，或世代數受光週期限制的種類，則大多維持不變；1 年可繁殖 2–3 代的種類，雖然其生長與繁殖速率略有增加，但受臨界溫度 (temperature thresholds; T_0)、有效溫度及光週期長度適應等問題所限制，其發育則無明顯變化 (Pullin 1986; Bale *et al*. 2002)。

溫度上升對多數昆蟲而言，特別是無需進入滯育 (diapause) 的種類，可使其持續發育與繁殖，並刺激其族群加速增長 (Harrington *et al*. 2001; Kiritani 2006)；但對某些在森林落葉堆中的越冬昆蟲種類而言，可能因冬季溫度上升，積雪厚度下降而提高族群死亡率 (Ayres & Lombardero 2000)。

總結，溫度的上升直接影響昆蟲有效發育溫度的快速累積，對於族群發育較不受環境因子限制的 (亞) 熱帶昆蟲且發育臨界溫度 (T_0) 低的 *r* 型昆蟲 (指個體小與世代短的昆蟲類群) 有利。

分布範圍

特別是對於不受寄主分布限制，但受低溫限制且生活史無需進入滯育的熱帶與亞熱帶物種，溫度的上升促使其分布向高海拔與高緯度等低溫地區擴散，如 Musolin (2007) 報告指

出普遍分布於熱帶與亞熱帶地區的南方稻綠椿 (*Nezara viridula* (Linnaeus))，在日本之分布範圍已由九州向北擴散至本州的大阪地區。

害蟲逐漸向外擴展其地理分布範圍的同時，相對會造成外來種入侵的危機，為另一個需注意的隱憂 (Sharma *et al*. 2005, 2010; Petzoldt & Seaman 2010)；溫帶地區的昆蟲，特別是需要進入滯育階段才能完成生活史的種類影響最大，此等昆蟲將無法順利擴大其分布範圍。再者，昆蟲之寄主若無法隨著溫度上升隨之迅速擴散者，其分布也會因而受限，族群成長也隨之受影響 (Chu & Chao 2000; Sutherst *et al*. 2011)。

對於遷移性昆蟲 (migratory insect) 種類，其適應氣候變遷之能力遠較其寄主強，也有較高的生存機率，氣候暖化也提高在早期遷移的可能性 (Zhou *et al*. 1995; Cannon 1998; Laštůvka 2009)，或因地區降水與風場形態的變化，而改變遷移性昆蟲之入侵模式 (Lv *et al*. 2023)，伴隨著遷移性昆蟲所媒介的病害種類，也就顯得越來越重要 (Kiritani 1999, 2006)。以玉米普遍發生且由蚜蟲媒介的病毒病害 (barley yellow dwarf virus; BYDV) 為例，玉米在英國並非為主要作物之原因，是由於溫度太低不適合玉米生長，但在全球暖化情況下，英國的環境可能越來越適合種植玉米，導致蚜蟲族群發生量變多，其所媒介的病毒病害有可能因此普遍發生，加上其媒介的病毒可同時感染英國重要的小麥與大麥等糧食作物，預期將造成嚴重產量損失，進而引發糧食短缺的危機 (Lucio-Zavaleta *et al*. 2001)。

物候學 (phenology) 發生改變

部分昆蟲種類與其寄主間經長期共同演化，兩物種間形成緊密且微妙的物候學關係，但在全球氣候變遷情況下，可能打破此關係而形成物候學不同步 (phenological asynchrony) 之現象，進而造成一 (或雙) 方發育不利之影響 (van Asch & Visser 2007)，特別是對於 1 年 1 世代的種類影響最大，如尺蠖蛾 (*Operophtera brumata* (Linnaeus)) 在春天幼蟲孵化時間與寄主 (橡樹) 新芽抽出時間相互配合，幼蟲可以正常取食與成長；反之，幼蟲太早或太晚孵化，在沒有或適合取食之寄主葉片情況下，將導致死亡率大增 (Dewar & Watt 1992; Chu & Chao 2000; Visser & Holleman 2001)。但也有學者指出全球氣候變遷下，溫度逐漸上升對於昆蟲與其寄主間發生同步性影響不大，選汰壓力才將是扮演昆蟲與寄主發生同步性的關鍵因子 (Watt *et al*. 1990)。

害蟲與天敵之交互作用

氣溫升高將會影響害蟲天敵的生活史、行為及生理參數，從而對害蟲生物防治效果產生不同程度的影響，導致天敵對寄主 (食餌) 控制效果發生改變 (Chidawanyika *et al*. 2019; Yang *et al*. 2022)。熱性能曲線 (thermal performance curve; TPC) 代表特定溫度耐受範圍內對昆蟲性能特徵的熱效應 (Angilletta 2009; Furlong & Zalucki 2017)，昆蟲性能在最佳溫度下可達到最大值，超過此溫度將導致性能下降 (Chidawanyika *et al*. 2019)。對於相互作用的物種，如害蟲-寄生蜂之影響非常重要，因為 TPC 中的差異反應可能導致物候週期不一致，研究顯示與寄主害蟲相比，各種寄生蜂的估計最佳溫度一直較低，這表明寄生蜂可能更容易受到氣候暖化的影響，隨著溫度升高寄生蜂生物防治效能降低，從而導致寄生蜂調節害蟲族群的基本生態功能喪失 (Hance *et al*. 2007; Furlong & Zalucki 2017; Machekano *et al*. 2018; Boukal *et al*. 2019)。

相對於寄主昆蟲，寄生蜂個體更小，有效積溫更低，許多報告指出高溫有利於其族群繁殖與擴展，如世代數增加與越冬族群提早出現等 (Cammell & Knight 1992; Davis *et al*. 1998; Yamamura & Kiritani 1998; Yamaguchi *et al*. 2001; Kiritani 2006)。然而，極端溫度可能會抵消這些特性，對生物防治產生負面影響 (Boukal *et al*. 2019; Chidawanyika *et al*. 2019)。過高的溫度對寄生蜂將造成致死影響，這可能是對細胞造成不可逆轉損害所造成 (Chown & Nicolson 2004)，瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)) 是亞洲地區水稻重要害蟲之一，赤眼卵蜂 (*Trichogramma* spp.)

則是被應用於防治瘤野螟的重要天敵，Tian *et al*. (2017) 指出 4 種赤眼卵蜂在不同溫度對瘤野螟卵的寄生率，其中在36℃的寄生率均為0，顯示未來溫度逐漸升高情境下，將顯著影響赤眼卵蜂對瘤野螟卵的防治效果。寄生蜂發育過程中，溫度過高或過低的情況下，皆會干擾性別比例，導致成蟲性比偏向雄性，並降低任一性別的活動能力，從而降低尋找配偶與寄主的效率 (Denlinger & Lee 1999; Moiroux *et al*. 2014) 。

除了寄生性天敵外，在氣溫逐漸升高的情境下，亦可能影響稻田的瓢蟲等捕食性天敵的存活，進而影響對害蟲的防治效果 (Lumbierres *et al*. 2021)，Jalali *et al*. (2014) 比較 *Exochomus nigripennis* (Erichson) 等 5 種瓢蟲，其卵、幼蟲及蛹於不同溫度之死亡率，以及是否能成功發育為成蟲階段，結果顯示僅 65% 的 *E. nigripennis* 個體，能於 35℃發育至成蟲階段，即使在 32.5℃亦有 1 種瓢蟲完全無法發育至成蟲階段，顯示不同瓢蟲物種在高溫環境的存活率具有差異。

因應氣候變遷溫度升高對害蟲天敵的影響，使用對溫度耐受性高的天敵，為可能的應用策略。Bai *et al*. (2022) 研究顯示黑肩綠盔盲椿象 (*Cyrtorhinus lividipennis* Reuter)，為亞洲地區水稻飛蝨與葉蟬類害蟲的優勢捕食性天敵，其抗熱性 (heat resistance) 顯著低於其食餌水稻褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens* (Stål))；而同一生態棲位的中華淡翅盲椿象 (*Tytthus chinensis* (Stål))，在相同高溫則較黑肩綠盔盲椿象，具有較高的熱忍受性、適應性及捕食能力，顯示其在未來高溫情境下，適合作為水稻褐飛蝨重要天敵的防治潛力。

二氧化碳對昆蟲的影響

二氧化碳對昆蟲的影響並非直接性，多為間接作用在其寄主植物上，再影響昆蟲本身。二氧化碳濃度的增加，可加速植物光合作用效率，提高作物產量 (Bazzaz 1990; Chu & Chao 2000)，但卻對植物品質 (C：N，碳氮比值) 產生重大影響，降低對植食性昆蟲的營養價值 (Nicolas & Sillans 1989)，導致昆蟲必須取食更多葉片才能補足所需營養 (Coviella & Trumble 1999; Hunter 2001)，間接致使昆蟲生長發育變差與發育期變長，使之更容易受到天敵攻擊 (Fajer *et al*. 1989; Coviella & Trumble 1999)。

二氧化碳濃度升高會影響植物的光合作用與呼吸作用，間接改變植物組織之胺基酸的組成種類與其含量 (Stacey & Fellowes 2002)，進而影響植食性昆蟲的發育；相同情況下，植物體碳氮濃度的變化促使植物體內胺基酸濃度增加，有利於刺吸式口器昆蟲的取食，但也有可能因為植物二次代謝物濃度的改變，影響植物對昆蟲的誘引性 (Harrington *et al*. 2001)。此外，二氧化碳濃度的增加，可導致植物體內以氮 (如生物鹼 (alkaloid)) 或碳 (如單寧 (tannins)) 為主的防禦物質比例下降或增加，進而影響植物的抗蟲性表現 (Sharma 2016)。亦有報告指出在二氧化碳濃度高與土壤水分含量低的多重逆境下，會抑制植物體內防禦機制之茉莉酸 (jasmonic acid)、水楊酸 (salicylic acid) 及乙烯 (ethylene) 合成途徑，致使植物提高對害蟲為害的敏感性與造成嚴重為害損失 (Andrew & Hill 2017)。

降雨對昆蟲的影響

大多數昆蟲生存的最適濕度範圍在 70–95% 之間，適度降雨對昆蟲的生長與發育均有利，但大雨 (heavy rain) 會將昆蟲打落並造成死亡 (Cheng 1998)；乾旱情況下，植物缺水也會降低部分昆蟲種類的發育 (Pons & Tatchell 1995)。

植物在溫度與土壤濕度等多重逆境因子下，其防禦系統會呈現弱化現象，增加對害蟲為害的敏感性，導致害蟲猖獗為害與作物損失 (Volney & Fleming 2000; Logan *et al*. 2003)。Sharma *et al*. (2005) 指出高粱在高溫與乾旱的環境下，對癭蚋 (*Stenodiplosis sorghicola* (Coquillett)) 與斑點螟蛾 (*Chilo partellus* Swinhoe) 的抗蟲性降低，造成印度地區的高粱受此類害蟲嚴重危害。

氣候變遷造成許多環境因子改變，其對害蟲與其寄主間的影響相當複雜，單一層面分析難以清楚說明整體的影響變化 (Gregory *et al*. 2009)。預測氣候變遷對昆蟲的影響，其中包

含直接或間接對昆蟲、天敵及寄主植物之間的交互作用，包含許多複雜性與不確定性 (Parmesan 2006; Araújo & Luoto 2007; Bradshaw & Holzapfel 2008)，長期監測既為基礎工作，也可為氣候變遷對昆蟲的影響程度，提供重要資訊 (Cannon 1998; Bale *et al*. 2002; Dukes *et al*. 2009; Thomson *et al*. 2010)。

氣候變遷對台灣水稻害蟲之影響

台灣一般常見的農作物害蟲其發育適溫大多介於 20–30℃，於適溫範圍內的害蟲發育速率，隨溫度增高而上升，一旦超過發育臨界高溫，發育與存活則大受影響 (Cheng 1998)。當平均溫度因氣候變遷升高 2.5℃時，1 年約可增加害蟲的有效積溫達 912.5 日度 (degree-day)，以此估算台灣水稻害蟲發生世代的可能變化，則二化螟 (*Chilo suppressalis* (Walker)) 與三化螟 (*Scirpophaga incertulas* (Walker)) 等中間型 (介於 *r* 型與 *k* 型) 害蟲，每年至少可增加 1 個世代；斑飛蝨 (*Laodelphax striatellus* (Fallén)) 與偽黑尾葉蟬 (*Nephotettix cincticeps* (Uhler)) 等 *r* 型害蟲，則可增加 2–3 個世代，只是繁殖世代的增加，並不代表其發生密度與為害程度隨之增加 (Cheng 1998)。

隨著溫度逐漸上升，台灣平原地區逐漸由溫帶與亞熱帶氣候，轉變為 (亞) 熱帶氣候，對以台灣為分布南界的水稻負泥蟲 (rice leaf beetle; *Oulema oryzae* (Kuwayama))、水稻水象鼻蟲 (*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel) 及斑飛蝨等溫帶害蟲種類，預估其族群分布範圍將逐漸往北部或高海拔地區移動，對台灣水稻為害程度將漸減；反之，以台灣為分布北界之褐飛蝨、白背飛蝨 (*Sogatella furcifera* (Horváth)) 及台灣黑尾葉蟬 (green rice leafhopper; *Nephotettix virescens* (Distant)) 等種類，在適當的寄主植物存在的情況下，其族群越冬存活率可能提高，發生時期也將提早，害蟲族群量與其為害性可能隨之大增。近年報告指出，因氣候變遷而嚴重發生與為害的種類有褐飛蝨 (*N. lugens*)、亞洲水稻癭蚋 (*Orseolia oryzae* (Wood-Mason))、大螟 (*Sesamia inferens* (Walker)) 及 *Nephotettix* 屬葉蟬等 (Sharma 2016)，例如在 2008 年，褐飛蝨於印度北部危害 33 萬公頃稻田 (IARI 2008)。

未來台灣水稻栽培環境隨全球暖化，有可能逐漸適合馬來亞黑椿象 (*Scotinophara coarctata* (Fabricius))、2種黑尾葉蟬 (*Nephotettix malayanus* Ishihara & Kawase 與 *N. parvus* Ishihara & Kawase)、亞洲水稻癭蚋 (*O. oryzae*)、水稻白螟 (*Scirpophaga innotata* (Walker)) 及水稻黑頭條螟 (*Chilo polychrysus* (Meyrick)) 等南洋熱帶區系水稻重要害蟲的生存。由於東南亞地區馬來亞黑椿象有逐漸往北擴散現象，台灣應持續關注上開國外害蟲的疫情發生狀況，(Cuaterno 2007; Huang *et al*. 2010)，杜絕任何可能的入侵途徑，以保護台灣水稻產業安全。

由海外地區長距離遷移進入台灣水稻產區之害蟲種類，如褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等，害蟲族群的發生時間可能提早，或世代數可能增加的情況下，此類遷移性害蟲族群伴隨著適當氣流，對於遷入地區的水稻生產與管理，將是新挑戰 (Huang *et al*. 2010)。另此類遷移性害蟲當中，部分為水稻病毒病害的媒介昆蟲，如褐飛蝨可傳播的水稻皺縮矮化病 (rice ragged stunt virus; RRSV) 與水稻草狀矮化病 (rice grassy stunt virus; RGSV)；白背飛蝨可傳播的南方型水稻黑條矮化病 (southern rice black streaked dwarf virus; SRBSDV)；斑飛蝨可傳播的水稻縞葉枯病 (rice stripe virus; RSV) 與水稻黑條矮化病 (rice black streaked dwarf virus; RBSDV) 等，此些蟲媒水稻病毒病害皆有可能因其遷移性的媒介昆蟲大發生，造成台灣水稻安全生產之嚴重威脅 (Huang *et al*. 2010)。

因應氣候變遷之調適策略

隨著全球溫暖化，害蟲發生時期提早且世代數可能隨之增加的情況下，對未來水稻害蟲為害之因應策略應及早建立以防患未然，建議應注意之重點如下：

持續監測與建立氣候因子對害蟲族群發生與危害之關聯性

當務之急仍以加強偵 (監) 測水稻害蟲發

生狀況，且必須特別關注從海外遷入的害蟲種類。為建立氣候變遷下可能改變不同農業生態系與生態區 (ecological zone) 之害蟲發生情形，同時為建立未來預測水稻害蟲發生的重要基礎資訊，我國與鄰近國家歷來皆有系統且持續監測水稻害蟲的族群動態，包括日本之水稻害蟲監測資料 (Yamamura *et al*. 2006)、中國的褐飛蝨與飛蝗長期監測 (Tian *et al*. 2011; Lv *et al*. 2023) 以及台灣水稻害蟲長期監測資料 (Cheng & Huang 2009)。

發展軟體預測氣候變遷與模擬對昆蟲之影響

國外研究報告內容包含運用電腦模擬氣候變遷條件下，逐步建立害蟲與其寄主植物適合生長發育之區域，例如以生態棲位模擬 (ecological niche modelling; ENM) 評估適於水稻但不適於其害蟲發生之區域。其他分析生物適應性有關軟體，尚包括 CLIMEX、BIOCLIM、DOMAIN 及 MaxEnt 等，其預測結果可與地理資訊系統 (geographic information system; GIS) 搭配，呈現目標害蟲之潛在分布區範圍。以褐飛蝨為例，Guru-Pirasanna-Pandi *et al*. (2021) 使用氣候變量的 MaxEnt 來預測褐飛蝨在印度的現在與未來潛在分布，結果顯示地理分布主要受溫度變量所影響 (68.7%)，其餘則受到降水因子影響；所有預測都顯示在不斷變化的氣候條件下，到 2090 年，高度適宜的地區面積將增加，而低風險地區則相對減少。而以 CLIMEX 搭配我國褐飛蝨為害紀錄，CLIMEX 使用的台灣近 30 年的氣象高解析度圖層，依據預測結果，並且觀察其最高溫、最低溫、降雨量及溫濕度指數，瞭解褐飛蝨在不同月份的增長指數，屏東地區主要受到濕度指數所影響，且由春季進入夏季的 2–5 月其濕度指數上升，害蟲增長指數也隨之上升。平均氣溫約 28℃以上與相對濕度 80% 以上，可能引起褐飛蝨大量危害 (第四作者未發表資料)。

害蟲攻擊指數 (pest aggression index; PAI) 用於評估具入侵潛力病蟲害對農業造成之可能為害損失；並提出水稻種植與害蟲共同發生時，可造成最大損害之量化損失評估。此等模式之建立，提供當局未來害蟲防疫與為害損失評估之參考，進而研擬適當農業因應政策 (Fand *et al*. 2012; Karuppaiah & Sujayanad 2012; Iannella *et al*. 2021)。

調整與發展氣候變遷下適用之害蟲綜合管理技術

藉由往昔田間害蟲管理經驗，並參考鄰近地區蟲害發生與防治相關結果，可知目前仍以整合多種防治方法於一體之綜合防治為最佳防治策略 (Hajjar *et al*. 2023)，配合選育具氣候韌性 (climate-resilient) 與抗蟲特性之優良水稻品種 (系) 為首要策略 (Catindig *et al*. 2009)，再依各地區環境選擇適合當地種植之品種 (系)，配合合理化施肥、水分管理制度及輪作等耕作防治建立作物最適生長模式，以因應氣候變遷過程病蟲害發生可能帶來的衝擊，減緩害蟲族群快速建立，將之控制於經濟為害基準之下 (Fand *et al*. 2012; Sharma 2016; Kuang *et al*. 2021)。除調整耕作模式外，營造不適於害蟲之棲息環境，保育與創造適合天敵之棲所環境 (地景操作)，除可強化生物防治效能，尚能有效抑制害蟲族群建立與增長 (Gurr 2009; Sharma 2016)；並在必要情況下，使用對環境安全、對目標害蟲有效且對天敵無害之藥劑種類，甚至篩選具新且多重作用機制的藥劑，諸如可防治刺吸式口器害蟲的新尼古丁類 (neonicotinoid) 藥劑，並可誘導如水楊酸之植物防禦反應物質的產生，增強作物活力與對非生物逆境的容忍性之新型藥劑 (Fand *et al*. 2012)，同時可運用佐劑 (adjuvant) 來改善藥劑轉移 (translocation) 或減少藥劑代謝，甚至是利用高科技技術 (如奈米粒子與微膠囊) 提高藥劑功能 (pesticide functionality) 等方式 (Karuppaiah & Sujayanand 2012)，以因應未來氣候變遷下，可提高蟲害管理效能，達到抑制害蟲族群密度於經濟為害基準之下的整合管理策略。

結語與未來展望

氣候變遷對昆蟲之影響，需從多重因子探討，現階段有關氣候變遷對於害蟲影響的研究資料仍相當有限。單就害蟲而言，主要直接影

響分布、多樣性、族群數、生長發育及物候學，雖然對於部分害蟲族群可能不利於生存，但對特定的害蟲族群仍可能擴大其地理分布與提高越冬存活率，並發展出更多世代的能力；新入侵的害蟲更容易在新的地區建立族群，屬於媒介昆蟲者更有利於傳播植物病害。氣候變遷可能導致的另一個主要問題，是作物耕作管理方式之改變以及防治資材與天敵昆蟲的有效性降低，尤其在害蟲與作物及天敵間之交互作用影響更為複雜，其間接對害蟲影響可能較直接影響來得大，是未來害蟲管理的一大挑戰。因此長期監測害蟲族群，並依據資料建立害蟲預測模型，提供防治決策參考，同時在因應氣候變遷而改變之耕作模式下，持續調整與發展適用之害蟲綜合管理技術，才能達到糧食生產安全的最終目標 (Cheng 1998; Skendžić *et al*. 2021)。

引用文獻

Andrew, N. R. and S. J. Hill. 2017. Effect of climate change on insect pest management. p.197–223. *in*: Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers. (Coll, M. and E. Wajnberg, eds.) John Wiley & Sons. Hoboken, NJ. 448 pp. doi:10.1002/9781119255574.ch9

Angilletta, M. J. 2009. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. Oxford University Press. Oxford, UK. 289 pp. doi:10.1093/acprof:oso/9780198570875.001.1

Araújo, M. B. and M. Luoto. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. Glob. Ecol. Biogeogr. 16:743–753. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00359.x

Ayres, M. P. and M. J. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. Sci. Total Environ. 262:263–286. doi:10.1016/s0048-9697(00)00528-3

Bai, Y., M. K. Quais, W. Zhou, and Z. R. Zhu. 2022. Consequences of elevated temperature on the biology, predation, and competitiveness of two mirid predators in the rice ecosystem. J. Pest. Sci. 95:901–916. doi:10.1007/s10340-021-01414-y

Bale, J. S., G. J. Masters, I. D. Hodkinson, C. Awmack, T. M. Bezemer, V. K. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J. C. Coulson, J. Farrar, J. E. G. Good, R. Harrington, S. Hartley, T. H. Jones, R. L. Lindroth, M. C. Press, I. Symrnioudis, A. D. Watt, and J. B. Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. Glob. Change Biol. 8:1–16. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x

Bazzaz, F. A. 1990. The response of natural ecosystems to the rising global CO_2 levels. Annu. Rev. Ecol. Syst. 21:167–196.

Boukal, D. S., A. Bideault, B. M. Carreira, and A. Sentis. 2019. Species interactions under climate change: Connecting kinetic effects of temperature on individuals to community dynamics. Curr. Opin. Insect Sci. 35:88–95. doi:10.1016/j.cois.2019.06.014

Bradshaw, W. E. and C. M. Holzapfel. 2008. Genetic response to rapid climate change: It's seasonal timing that matters. Mol. Ecol. 17:157–166. doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03509.x

Cammell, M. E. and J. D. Knight. 1992. Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests. Adv. Ecol. Res. 22:117–162. doi:10.1016/S0065-2504(08)60135-X

Cannon, R. J. C. 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. Glob. Change Biol. 4:785–796. doi:10.1046/j.1365-2486.1998.00190.x

Catindig, J. L. A., G. S. Arida, S. E. Baehaki, J. S. Bentur, L. Q. Cuong, M. Norowi, W. Rattanakarn, W. Sriratanasak, J. Xia, and Z. Lu. 2009. Situation of planthoppers in Asia. p.191–220. *in*: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia (Heong, K. L. and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 460 pp.

Cheng, C. H. 1998. Impact of global climate change on crop insect pests in relation to pest control strategies in Taiwan. p.73–85. *in*: Effects of Climate Change on Crop Production (Lin, C. Y. and C. M. Yang, eds.) Taiwan Agricultural Research Institute. Taichung, Taiwan. 212 pp. (in Chinese with English abstract)

Cheng, C. H. and S. H. Huang. 2009. Reconsideration of the rice insect pests control in Taiwan. p.65–82. *in*: Proceedings of Symposium on Achievements and Perspectives of Rice Protection in Taiwan. (Ni, H. F. and H. R. Yang, eds.). July 9, 2009. Chiayi, Taiwan. Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute. Chiayi, Taiwan. (in Chinese with English abstract)

Chidawanyika, F., P. Mudavanhu, and C. Nyamukondiwa. 2019. Global climate change as a driver of bottom-up and top-down factors in agricultural landscapes and the fate of host-parasitoid inter-

actions. Front. Ecol. Evol. 7:80. doi:10.3389/fevo.2019.00080

Chown, S. L. and S. Nicolson. 2004. Insect Physiological Ecology: Mechanisms and Patterns. Oxford University Press. Oxford, UK. 256 pp. doi:10.1093/acprof:oso/9780198515494.001.0001

Chu, Y. I. and J. T. Chao. 2000. The impact of global change on insects. p.341–366. *in*: Applied Entomology. (Wang, T. C. and W. J. Wu, eds.) National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 401 pp. (in Chinese)

Coviella, C. E. and J. T. Trumble. 1999. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. Conserv. Biol. 13:700–712.

Cuaterno, W. R. 2007. Current status of rice black bug and its management in the Philippines. p.653–660. *in*: Rice Black Bugs: Taxonomy, Ecology, and Management of Invasive Species. (Joshi, R. C., A. T. Barrion, and L. S. Sebastian, eds.) Philippine Rice Research Institute. Nueva Ecija, Philippines. 793 pp.

Davis, A. J., L. S. Jenkinson, J. H. Lawton, B. Shorrocks, and S. Wood. 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. Nature 391:783–786. doi:10.1038/35842

Denlinger, D. L. and R. E. Lee. 1999. Physiology of cold sensitivity. p.55–96. *in*: Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management. (Hallman, G. J. and D. L. Denlinger, eds.) CRC Press. Boca Raton, FL. 311 pp.

Dewar, R. C. and A. D. Watt. 1992. Predicted changes in the synchrony of larval emergence and budburst under climatic warming. Oecologia 89:557–559. doi:10.1007/BF00317163

Dukes, J. S., J. Pontius, D. Orwig, J. R. Garnas, V. L. Rodgers, N. Brazee, B. Cooke, K. A. Theoharides, E. E. Stange, R. Harrington, J. Ehrenfeld, J. Gurevitch, M. Lerdau, K. Stinson, R. Wick, and M. Ayres. 2009. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? Can. J. For. Res. 39:231–248. doi:10.1139/X08-171

Fajer, E. D., M. D. Bowers, and F. A. Bazzaz. 1989. The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant- Insect herbivore interactions. Science 243:1198–1200. doi:10.1126/science.243.4895.1198

Fand, B. B., A. L. Kanble, and M. Kumar. 2012. Will climate change pose serious threat to crop pest management: A critical review? Int. J. Sci. Res. Publ. 2(11):1–11.

Furlong, M. J. and M. P. Zalucki. 2017. Climate change and biological control: The consequences of increasing temperatures on host-parasitoid interactions. Curr. Opin. Insect Sci. 20:39–44. doi:10.1016/j.cois.2017.03.006

Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton, and J. S. I. Ingram. 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. J. Exp. Bot. 60:2827–2838. doi:10.1093/jxb/erp080

Gurr, G. M. 2009. Prospects for ecological engineering for planthoppers and other arthropod pests in rice. p.371–388. *in*: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. (Heong, K. L. and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 460 pp.

Guru-Pirasanna-Pandi, G., J. S. Choudhary, A. Chemura, G. Basana-Gowda, M. Annamalai, N. Patil, T. Adak, and P. C. Rath. 2021. Predicting the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) potential distribution under climatic change scenarios in India. Curr. Sci. 121:1600–1609.

Hajjar, M. J., N. Ahmed, K. A. Alhudaib, and H. Ullah. 2023. Integrated insect pest management techniques for rice. Sustainability 15:4499. doi:10.3390/su15054499

Hance, T., J. van Baaren, P. Vernon, and G. Boivin. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. Annu. Rev. Entomol. 52:107–126. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091333

Harrington, R., R. A. Fleming, and I. P. Woiwod. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted? Agric. For. Entomol. 3:233–240. doi:10.1046/j.1461-9555.2001.00120.x

Hsu, H. H., C. Chou, Y. C. Wu, M. M. Lu, C. T. Chen, and Y. M. Chen. 2011. Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011 (Summary). National Science Council. Taipei, Taiwan. 67 pp.

Huang, C. T., T. Y. R. Fu, and S. S. Chang. 2009. Crops and food security- Experiences and perspectives from Taiwan. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 18:520–526.

Huang, S. H., C. H. Cheng, and W. J. Wu. 2010. Possible impacts of climate change on rice insect pests and management tactics in Taiwan. Crop, Environ. Bioinform. 7:269–279.

Hunter, M. D. 2001. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. Agric. For. Entomol. 3:153–159. doi:10.1046/j.1461-9555.2001.00108.x

Iannella, M., W. De Simone, P. D’Alessandro, and M. Biondi. 2021. Climate change favours connectivity

between virus-bearing pest and rice cultivations in sub-Saharan Africa, depressing local economies. PeerJ 9:e12387. doi:10.7717/peerj.12387

Indian Agricultural Research Institute (IARI). 2008. Brown planthopper outbreak in rice crop. IARI News 24(4):1–2.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. Summary for policymakers. *in*: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/ (visit on 06/18/2023)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. Summary for policymakers. *in*: Climate Change 2023: Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf (visit on 06/10/2023)

Jalali, M. A., M. R. Mehrnejad, and D. C. Kontodimas. 2014. Temperature-dependent development of the five psyllophagous ladybird predators of *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psyllidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 107:445–452. doi:10.1603/AN13112

Karuppaiah, V. and G. K. Sujayanand. 2012. Impact of climate change on population dynamics of insect pests. World J. Agric. Sci. 8:240–246.

Kiritani, K. 1999. Shift of IPM strategy for rice under global warming in temperate areas. p.235–244. *in*: Integrated Pest Management in Rice-Based Ecosystem. (Zhang, R., D. Gu, W. Zhang, C. Zhou, and Y. Pang, eds.) Zhongshan University Press. Guangzhou, China. 288 pp.

Kiritani, K. 2006. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. Popul. Ecol. 48:5–12. doi:10.1007/s10144-005-0225-0

Kuang, Y. H., Y. F. Fang, S. C. Lin, S. F. Tsai, Z. W. Yang, C. P. Li, S. H. Huang, S. L. Hechanova, K. K. Jena, and W. P. Chuang. 2021. The impact of climate change on the resistance of rice near-isogenic lines with resistance genes against brown planthopper. Rice 14:64. doi:10.1186/s12284-021-00508-6

Laštůvka, Z. 2009. Climate change and its possible influence on the occurrence and importance of insect pests. Plant Protect. Sci. 45:S53–S62. doi:10.17221/2829-PPS

Logan, J. A., J. Régnière, and J. A. Powell. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. Front. Ecol. Environ. 1:130–137. doi:10.1890/1540-9295(2003)001[0130:ATIOGW]2.0.CO;2

Lucio-Zavaleta, E., D. M. Smith, and S. M. Gray. 2001. Variation in transmission efficiency among *barley yellow dwarf virus*-RMV isolates and clones of the normally inefficient aphid vector, *Rhopalosiphum padi*. Phytopathology 91:792–796. doi:10.1094/PHYTO.2001.91.8.792

Lumbierres, B., F. Madeira, M. Roca, and X. Pons. 2021. Effects of temperature and diet on the development and reproduction of the ladybird *Oenopia conglobata*. Entomol. Gen. 41:197–208. doi:10.1127/entomologia/2020/1077

Lv, H., M. Y. Zhai, J. Zeng, Y. Y. Zhang, F. Zhu, H. M. Shen, K. Qiu, B. Y. Gao, D. R. Reynolds, J. W. Chapman, and G. Hu. 2023. Changing patterns of the East Asian monsoon drive shifts in migration and abundance of a globally important rice pest. Glob. Change Biol. 29:2655–2688. doi:10.1111/gcb.16636

Machekano, H., B. M. Mvumi, and C. Nyamukondiwa. 2018. Loss of coevolved basal and plastic responses to temperature may underlie trophic level host-parasitoid interactions under global change. Biol. Control 118:44–54. doi:10.1016/j.biocontrol.2017.12.005

Moiroux, J., J. Brodeur, and G. Boivin. 2014. Sex ratio variations with temperature in an egg parasitoid: Behavioural adjustment and physiological constraint. Anim. Behav. 91:61–66. doi:10.1016/j.anbehav.2014.02.021

Musolin, D. L. 2007. Insects in a warmer world: Ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. Glob. Change Biol. 13:1565–1585. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01395.x

Nicolas, G. and D. Sillans. 1989. Immediate and latent effects of carbon dioxide on insects. Annu. Rev. Entomol. 34:97–116. doi:10.1146/annurev.en.34.010189.000525

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 37:637–669. doi:10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100

Petzoldt, C. and A. Seaman. 2010. Climate change effects on insects and pathogens. p.6–16. *in*: Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses. (Petzoldt, C. and A. Seaman, eds.) Geneva, NY. 616 pp.

Pons, X. and G. M. Tatchell. 1995. Drought stress and cereal aphid performance. Ann. Appl. Biol. 126:19–31. doi:10.1111/j.1744-7348.1995.tb05000.x

Pullin, A. S. 1986. Effect of photoperiod and temperature on the life-cycle of different populations of the peacock butterfly *Inachis io*. Entomol. Exp.

Appl. 41:237–242. doi:10.1111/j.1570-7458.1986.tb00534.x

Sharma, H. C. 2016. Climate change vis-a-vis pest management. p.17–25. *in*: Conference on National Priorities in Plant Health Management. February 4–5, 2016. Tirupati, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, India.

Sharma, H. C., M. K. Dhillon, J. Kibuka, and S. Z. Mukuru. 2005. Plant defense responses to sorghum spotted stem borer, *Chilo partellus* under irrigated and drought conditions. Int. Sorghum Millets Newsl. 46:49–52.

Sharma, H. C., C. P. Srivastava, C. Durairaj, and C. L. L. Gowda. 2010. Pest management in grain legumes and climate change. p.115–139. *in*: Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops. (Yadav, S. S., D. L. McNeil, R. Redden, and S. A. Patil, eds.) Springer. Dordrecht, The Netherlands. 460 pp. doi:10.1007/978-90-481-3709-1_7

Shih, H. T., Y. B. Huang, F. C. Lin, S. H. Huang, Y. S. Hsieh, C. J. Chang, S. C. Chang, M. Y. Chiang, and C. H. Kao. 2011. Adaptation of crop pest managements for coping with climate change. p.37–46. *in*: Proceedings of the Workshop on Agricultural Production and Environmental Adaptations for Coping with Climate Change. October 25, 2011. Taichung, Taiwan. Chinese Society of Agrometeorology, Changhua, Taiwan. (in Chinese with English abstract)

Skendžić, S., M. Zovko, I. P. Živković, V. Lešić, and D. Lemić. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects 12:440. doi:10.3390/insects12050440

Stacey, D. A. and M. D. E. Fellowes. 2002. Influence of elevated CO_2 on interspecific interactions at higher trophic levels. Glob. Change Biol. 8:668–678. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00506.x

Sutherst, R. W., F. Constable, K. J. Finlay, R. Harrington, J. Luck, and M. P. Zalucki. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. WIREs Clim. Change 2:220–237. doi:10.1002/wcc.102

Thomson, L. J., S. Macfadyen, and A. A. Hoffmann. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. Biol. Control 52:296–306. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.01.022

Tian, H., L. C. Stige, B. Cazelles, K. L. Kausrud, R. Svarverud, N. C. Stenseth, and Z. Zhang. 2011. Reconstruction of a 1,910-y-long locust series reveals consistent associations with climate fluctuations in China. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 108:14521–14526. doi:10.1073/pnas.1100189108

Tian, J. C., Z. C. Wang, G. R. Wang, L. Q. Zhong, X. S. Zheng, H. X. Xu, L. S. Zhang, and Z. X. Lu. 2017. The effects of temperature and host age on the fecundity of four *Trichogramma* species, egg parasitoids of the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). J. Econ. Entomol. 110:949–953. doi:10.1093/jee/tox108

van Asch, M. and M. E. Visser. 2007. Phenology of forest caterpillars and their host trees: The importance of synchrony. Annu. Rev. Entomol. 52:37–55. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091418

Visser, M. E. and L. J. M. Holleman. 2001. Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. Proc. R. Soc. Lond. B. 268:289–294. doi:10.1098/rspb.2000.1363

Volney, W. J. A. and R. A. Fleming. 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. Agric. Ecosyst. Environ. 82:283–294. doi:10.1016/S0167-8809(00)00232-2

Watt, A. D., L. K. Ward, and B. C. Eversham. 1990. Invertebrates. p.32–37. *in*: The Greenhouse Effect and Terrestrial Ecosystems of the UK. (Cannell, M. G. R. and M. D. Hopper, eds.) Institute of Terrestrial Ecology Research Publication, No. 4. His Majesty's Stationery Office. London, UK. 56 pp.

Yamaguchi, T., K. Kiritani, K. Matsuhira, and K. Fukuda. 2001. The influence of unusual hot weather on the occurrence of several arthropod crop pests. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 45:1–7. (in Japanese with English abstract) doi:10.1303/jjaez.2001.1

Yamamura, K. and K. Kiritani. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. Appl. Entomol. Zool. 33:289–298. doi:10.1303/aez.33.289

Yamamura, K., M. Yokozawa, M. Nishimori, Y. Ueda, and T. Yokosuka, 2006. How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields. Popul. Ecol. 48:31–48. doi:10.1007/s10144-005-0239-7

Yang, Q., J. Liu, K. A. G. Wyckhuys, Y. Yang, and Y. Lu. 2022. Impact of heat stress on the predatory ladybugs *Hippodamia variegata* and *Propylaea quatuordecimpunctata*. Insects 13:306. doi:10.3390/insects13030306

Zhou, X., R. Harrington, I. P. Woiwod, J. N. Perry, J. S. Bale, and S. J. Clark. 1995. Effects of temperature on aphid phenology. Glob. Change Biol. 1:303–313. doi:10.1111/j.1365-2486.1995.tb00029.x

Climate Change Mitigation Strategies of Rice Insect Pests in Taiwan

Po-Yu Lai[1], Yu-Bing Huang[2], Yaw-Jen Dong[2], Li-Hsin Wu[3], and Shou-Horng Huang[4,*]

Lai, P. Y., Y. B. Huang, Y. J. Dong, L. H. Wu, and S. H. Huang. 2023. Climate change mitigation strategies of rice insect pests in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):277–287.

Abstract

The onset of climate change is evidenced by increases in global average temperature and CO_2 concentrations, changes in precipitation patterns, and extreme climatic events. These changes directly affect the distribution, physiology, phenology, and population dynamics of insect species, while the abundance of individual species may also be indirectly affected through tritrophic interactions. The effects of these factors on insects remain complex and unpredictable. The ongoing warming trend may shift Taiwan's climate towards tropical conditions, creating a more favorable environment for multivoltine rice insect pests. Various prediction models have been developed to estimate each insect species' potential impact and yield loss under climate change conditions, based on their ecology and phenology. However, it is crucial to prioritize and continuously monitor changes in species composition and pest populations in rice fields. In Taiwan, implementing effective pest control measures involves developing appropriate varieties and cropping patterns for different ecological zones, breeding resistant varieties with resilient genes, creating suitable habitats for natural enemies, using bio- and low-toxicity pesticides to control insect pests, protecting natural enemies, and screening new and multifunctional pesticides to keep pest populations below economically damaging levels.

Key words: Climate change, Taiwan, Rice, Pest management.

Received: July 17, 2023; Accepted: August 22, 2023.

* Corresponding author, e-mail: shhuang@tari.gov.tw

1 Assistant Research Fellow, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

2 Associate Research Fellows, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

3 Associate Professor, Department of Plant Medicine, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung County, Taiwan, ROC.

4 Associate Research Fellow, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):289–316 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0002 專題論述

台灣作物疫病菌種類與其寄主範圍

黃晉興[1]、林筑蘋[2]、黃巧雯[2]、蔡志濃[3]、安寶貞[4,*]

黃晉興、林筑蘋、黃巧雯、蔡志濃、安寶貞。2023。台灣作物疫病菌種類與其寄主範圍。台灣農業研究 72(4):289–316。

摘要

植物疫病菌 (*Phytophthora* de Bary) 是卵菌綱的一屬，常造成植物的嚴重病害，其種類甚多，目前全球已記錄且可被接受之有效種 (species) 約有 200 種，至今文獻記載台灣的疫病菌約 40 種，包括 *P. amaranthi*、*P. attenuate*、*P. bishii* (= *P. bisheria*)、*P. boehmeriae*、*P. cactorum*、*P. cambivora*、*P. capensis*、*P. capsici*、*P. castaneae* (= *P. katsurae*)、*P. chlamydospora*、*P. cinnamomi*、*P. citricola*、*P. citrophthora*、*P. colocasiae*、*P. cryptogea*、*P. cyperi*、*P. drechsleri*、*P. flexuosa*、*P. formosa*、*P. heveae*、*P. humicola*、*P. infestans*、*P. insolita*、*P. intricata*、*P. lateralis*、*P. leersiae*、*P. lepironae*、*P. litchii* (= *Peronophythora litchii*)、*P. macrospora*、*P. meadii*、*P. melonis*、*P. multivesiculata*、*P. nagaii*、*P. nicotianae* (= *P. parasitica*)、*P. niederhauserii*、*P. palmivora*、*P. parvispora*、*P. plurivora*、*P. tropicalis* 及 *P. vignae* 等。本文詳列這些疫病菌在台灣的寄主範圍、發表年代及文獻；由於雜交種 (hybrid) 的分類尚未有正式規則，故不列入。

關鍵詞：疫病、疫病菌、寄主。

前言

疫病菌 (*Phytophthora* de Bary) 自 1876 年 Heinrich Anton de Bary 命名以來，為害作物在千屬以上，是非常重要的植物病原菌之一。至 2022 年可被接受之疫病菌有效種 (species) 已約有 200 種 (Brasier *et al*. 2022)，多數為 2,000 年後才鑑定的新種。依據《台灣植物病害名彙》(Tzean 2019) 與近年論文發表之記載，在台灣已發現之疫病菌共有 40 種，寄主則在百餘種以上。

疫病菌菌絲白色透明，表面不規則，無隔膜，分歧處成直角；菌落純白色，有些種類在培養基上生長時有特殊花紋。無性生殖時主要形成孢囊 (sporangia) 與游走子 (zoospores)；孢囊著生在孢囊梗 (sporangiophore) 上，可直接發芽侵入寄主，亦可在低溫有水的環境下釋放游走子，成為感染源，稱為間接發芽。有性生殖為形成卵孢子 (oospores)，其為藏卵器 (oogonia) 與藏精器 (antheridia) 結合產生 (圖 1)。有些疫病菌單獨培養即可行有性生殖，稱為同絲型 (homothalism)；大部分疫病菌需要不同配對型菌株共同培養才可進行有性生殖，稱為異絲型 (heterothalism)。孢囊與游走子為疫病菌之主要傳播與侵染器官；而卵孢子則為殘存器官，可以在寄主植物殘體與土壤中存活數年。

疫病菌在 1980 年以前被認為是低等真菌 (lower fungi) (Fitzpatrick 1930; Sparrow 1960)，當時的分類地位如下：

真菌門 (Eumycota)
　藻菌綱 (Phycomycetes)
　　卵菌亞綱 (Oomycetidae)

投稿日期：2023 年 5 月 23 日；接受日期：2023 年 9 月 20 日。
[*] 通訊作者：pjann@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所植物病理組副研究員。台灣 台中市。
[2] 農業部農業試驗所植物病理組助理研究員。台灣 台中市。
[3] 農業部農業試驗所植物病理組研究員兼組長。台灣 台中市。
[4] 農業部農業試驗所植物病理組前研究員兼組長。台灣 台中市。

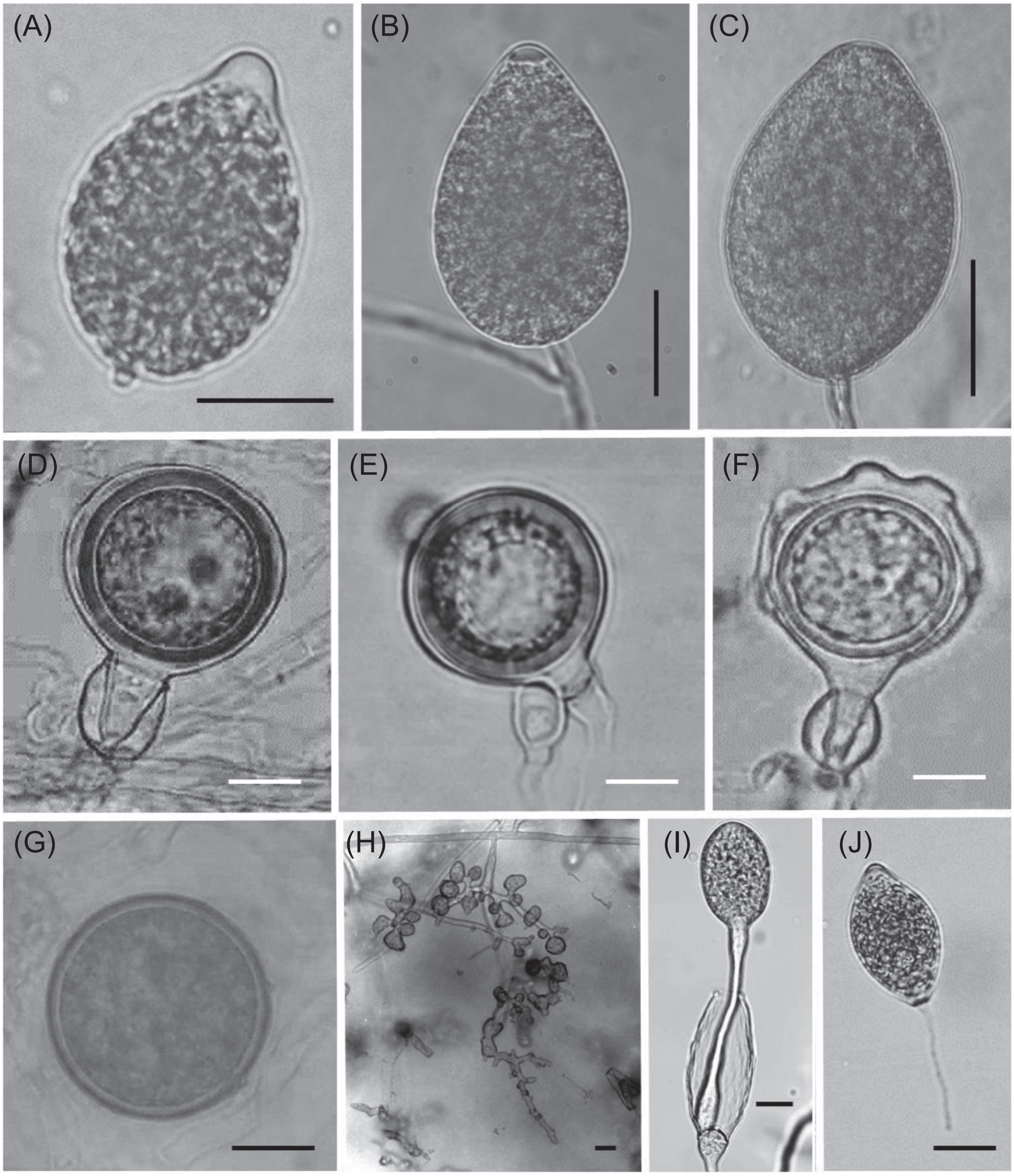

圖 1. 疫病菌的形態。(A–C) 全乳突、 半乳突及無乳突的孢囊 (分別來自 *Phytophthora palmivora*、*P. bishii* 及 *P. nagaii*)；(D, E) 藏精器底著、側著 (分別來自 *P. nicotianae* 與 *P. bishii*)；(F) 藏卵器表面有突起 (來自 *P. castania*)；(G) 厚膜孢子 (來自 *P. nicotianae*)；(H) 菌絲膨大體 (來自 *P. multivesiculata*)；(I) 內增生的孢囊 (來自 *P. melonis*)；(J) 脫落的孢囊梗 (來自 *P. capsici*)。黑與白線段分別代表 20 與 10 μm。

Fig. 1. Morphology of *Phytophthora* species. (A–C) Papillate, semi-papillate, and non-papillate sporangia (respectively from *P. palmivora*, *P. bishii* and *P. nagaii*); (D, E) oogonia with amphigynous and paragynous antheridia, respectively from *P. nicotianae* and *P. bishii*; (F) ornamented structure (from *P. castania*); (G) chlamydospores (from *P. nicotianae*); (H) hyphal swellings (from *P. multivesiculata*); (I) inner proliferation of sporangium (from *P. melonis*); and (J) deciduous sporangia with a long pedicel (from *P. capsici*). Black and white bars indicate 20 and 10 μm, respectively.

露菌目 (Peronosporales)
腐霉菌科 (Pythiaceae)
疫病菌屬 (*Phytophthora*)

在 1980–1996 年疫病菌仍被認為是低等真菌，按照 Alexopoulos & Mims (1979) 的分類系統，分類地位修正如下：

真菌界 (Fungi)
鞭毛菌門 (Mastigomycota)
卵菌綱 (Oomycetes)
露菌目 (Peronosporales)
腐霉菌科 (Pythiaceae)
疫病菌屬 (*Phytophthora*)

而後因生物科技進步，發現卵菌綱微生物 (包括疫病菌) 在細胞組成與核酸序列等和一般真菌相差甚遠，包括細胞壁成分主要為纖維素 (cellulose) (Bartnicki-Garcia 1968)、儲存物質成分主要為 β-1, 3 葡聚醣 (β-1, 3 glucans) (Wang & Bartnicki-Garcia 1974)、體細胞多核、無隔膜 (coenocytic) (Alexopoulos *et al*. 1996)、體細胞核為雙套 (diploid) (Win-Tin & Dick 1975) 及粒線體脊 (mitochondrial cristae) 管狀 (tubular) 等 (Vaziri-Tehrani & Dick 1980)。核酸序列比對也發現卵菌與某些矽藻、黃綠藻等較為相近 (Gunderson *et al*. 1987; Förster *et al*. 1990; Leipe *et al*. 1996; Van de Peer & De Wachter 1997)，故在 1990 年之後，分類學者將卵菌綱微生物與真菌分開 (Alexopoulos *et al*. 1996)，將其歸類於色藻界 (Chromista) (Cavalier-Smith 1981) 或纖毛菌界 (Stramenopila) (Dick 2001)。而身為卵菌綱成員的疫病菌親緣就與藻類比較接近，其分類地位修正如下：

真核領域 (Eukaryota Domain)
色藻界 (Chromista) (Cavalier-Smith 1981)
不等鞭毛總門 (Heterokonta)
卵菌門 (Oomycota)
卵菌綱 (Oomycetes)
露菌目 (Peronosporales)
腐霉菌科 (Pythiaceae)
疫病菌屬 (*Phytophthora*)

隨著更多的核酸序列比對分析研究報告被發表，疫病菌被認為與露菌 (downy mildew) 親緣關係較近 (Riethmuller *et al*. 2002; Thines *et al*. 2008, 2009; Thines 2014; Beakes & Thines 2017)，於是在分科的階層便由腐霉菌科 (Pythiaceae) 轉而歸屬於露菌科 (Peronosporaceae) (Beakes & Thines 2017)，最新的分類地位如下：

色藻界 (Chromista)
卵菌門 (Oomycota)
卵菌綱 (Oomycetes)
露菌目 (Peronosporales)
露菌科 (Peronosporaceae)
疫病菌屬 (*Phytophthora*)

然而亦有學者認為露菌科應僅包含絕對寄生性的露菌，不適合納入疫病菌 (Göker *et al*. 2007)。Cooke 等人利用核醣體內轉錄區間 (The internal transcribed spacer 1 and 2 of ribosomal DNA; rDNA-ITS 1 and ITS2) 的核酸序列構築疫病菌與相關卵菌的親緣關係樹 (phylogenetic tree)，發現露菌源自疫病菌群內 (Cooke *et al*. 2000)，後續許多研究利用一個或更多片段的核酸序列探討親緣關係，分析結果也都認為露菌是從疫病菌衍生出來的支系 (Voglmayr *et al*. 2003; Göker *et al*. 2007; Thines *et al*. 2008, 2009; Bourret *et al*. 2018; Brasier *et al*. 2022)，但因採用的核酸片段與建構親緣關係樹所使用的程式與參數設定不同，分析結果也會有小幅的差異。

疫病菌的分類

疫病菌之傳統分類以形態特徵為主，生理生化特性與病原性為輔，主要參考 Waterhouse (1963, 1970) 與 Stamp *et al*. (1990) 的文章。形態特性包括孢囊、有性生殖器官、菌絲膨脹體 (hyphal swelling)、厚膜孢子 (Chlamydospore) 及菌落等。生理生化特性包括生長溫度與生化反應。病原性主要指寄主範圍與致病能力強弱。此外，也可使用選擇性培養基 (Massago *et al*. 1977) 區隔疫病菌與其他菌類。

疫病菌之重要形態特徵 (圖 1) 包括 (1) 孢囊：a. 根據乳頭狀突起 (papilla) 之有無與

突起程度，分成全乳突 (papillate)、半乳突 (semi-papillate) 及無乳突 (non-papillate) 等 3 型 (Waterhouse 1963)；b. 孢囊脫落 (deciduous) 或不脫落；c. 脫落孢囊之柄長 (pedicel length)；d. 孢囊再生 (proliferation) 情形；e. 孢囊在孢囊梗上排列的情形 (sporangial arrangement)；f. 孢囊長寬比 (length/breadth ratio)；g. 孢囊的大小。(2) 有性生殖方式與生殖器官：a. 有性生殖方式為同絲型 (homothallism) 或異絲型 (heterothallism) (Waterhouse 1963)，而異絲型可再區分為配對型 A_1、A_2 或 A_0；b. 藏精器著生在藏卵器的方式為底著 (amphigynous) 或側著 (paragynous)；c. 藏卵器的大小；d. 藏卵器表面形態：有些有顯著之突起，如 *P. castaneae* (= *P. katsurae*)。(3) 厚膜孢子 (chlamydospores) ：有無、數量及大小，例如 *P. cinnamomi* 具有大量的厚膜孢子。(4) 菌絲膨脹體 (hyphal swellings) ：可協助判別種類。(5) 菌絲與菌落形態 (colony pattern)：菌絲白色透明； a. 菌落平滑或有特殊花紋；b. 氣生菌絲之有無；c. 菌絲直徑。

生長溫度為疫病菌之重要生理特性，存在於台灣的菌株一般為中溫菌，菌絲可在 12–32℃生長，最適溫度為 24–28℃；至於最高生長溫度，有些菌種可耐 36–37℃之高溫，如 *P. nicotianae*、*P. capsici* 及 *P. melonis*；*P. insolita* 在 38℃的生長速度高達 4.0 mm day^{-1}。相對的，有些菌種為低溫菌，最高生長溫度為 24–25℃，如 *P. infestans*，但 1997 年之後入侵台灣的新菌系 *P. infestans* US-11 在 27–28℃仍可生長 (Jyan *et al*. 2002, 2004)。

在傳統鑑定中與疫病菌最容易混淆者為腐霉菌 (*Pythium* spp.)，兩者之間其實不乏明顯差異 (表 1)，其中最大的差別為游走子的形成方式。疫病菌在間接發芽時，孢囊內的原生質先分化形成游走子，再由孢囊開口釋出；而腐霉菌則是在孢囊的先端先長出釋放管 (exit tube)，原生質由孢囊通過釋放管釋出後，進入釋放管末端形成的囊泡 (vesicle)，並在囊泡內分化形成游走子，最後囊泡破裂而釋出游走子。此外，利用選擇性培養基也可以區分這兩屬卵菌 (Massago *et al*. 1977)。

疫病菌的現代分類方法（核酸序列比對分析）

傳統上，疫病菌之分類首先參考 “Key to the Species of *Phytophthora* de Bary” (Waterhouse 1963)，該文獻依疫病菌孢囊乳突形狀 (全乳突、半乳突及無乳突) 與藏精器及藏卵器結合的型式 (底著或側著)，區分成 3 × 2 共 6 個群 (groups)，再根據各群內的各種特性 (如前述各種器官的形狀與大小及生長溫度範圍等) 鑑定到菌種的層級。但得注意菌株培養特性，有時候會因老化而受影響等問題。

這期間還有應用 DNA 指紋鑑定 (DNA fingerprinting)、聚合酶連鎖反應 (polymerase chain reaction) 及定量聚合酶連鎖反應 (quan-

表 1. 疫病菌與腐霉菌之區別。

Table 1. Morphological and physiological differences between *Phytophthora* and *Pythium*.

Morphological and physiological characteristics	*Phytophthora* (Waterhous 1963, 1970)	*Pythium* (Van der Plaats-Niterink 1981)
Hyphae	Hyphal surface not smooth; branch at a right angle	Hyphal surface not smooth; branch at an acute angle
Mycelial growth rate	Slow (often < 10 mm day^{-1})	Relatively fast (often > 10 mm day^{-1})
Sporangia	Globose, subglobose, ovoid, ellipsoid	Hyphae-like, lobate, globase, or irregular
Zoospore formation	In the sporangia	In the vesicle which extrudes from the sporangia
Size of oospores	Relatively large (often > 25 mm in diameter)	Relatively small (often < 25 mm in diameter)
Antheridium number per oogoniium	Usually one antheridium	Single- antheridium or multi- antheridia
Host and infection sites	Aboveground and underground parts of herbaceous plants and woody plants	Herbaceous plants and underground parts of woody plants

titative polymerase chain reaction) 等技術，以協助種間或甚至種內不同菌系的區別 (Van der Lee *et al*. 1997; Purvis *et al*. 2001; Knapova & Gisi 2002; Flier *et al*. 2003; Goss *et al*. 2011)。

Cooke 等人 (2000) 發表第一個基於根據 ITS1 與 ITS2 核酸序列所建構的疫病菌屬親緣關係樹，將 50 種、共 234 株疫病菌分離株區分為 10 個分支群 (Clade)，為現今疫病菌屬分支群命名法奠定基礎。爾後再陸續發現新的分支群，包括 Clade 11 (Rahman *et al*. 2015) 與 Clade 12 (Jung *et al*. 2017b)，截至 2023 年為止，*Phytophthora* 一共有 12 個分支群 (Abad *et al*. 2023; Coomber *et al*. 2023)，為現今疫病菌鑑定與分類的主要架構。

近年來則使用多段核酸序列 (multiple loci) 所構築的親緣關係樹，通常使用 3 段或以上，而目前常用來鑑別疫病菌的核酸序列有十餘種，其中較常用被使用者，包括細胞核染色體的 rDNA-ITS、28S ribosomal DNA (28S)、60S ribosomal protein L10 (60S L10)、beta-tubulin (β-tubulin)、elongation factor 1 alpha (EF1-α)、enolase、heat shock protein 90 (HSP90) 及 tigA gene fusion protein (Tig A) (Cooke *et al*. 2000; Kroon *et al*. 2004; Blair *et al*. 2008; Yang *et al*. 2017; Chen *et al*. 2022)，與粒線體內的 cytochrome c oxidase 1 (*cox* 1)、cytochrome c oxidase 2 (*cox* 2)、NADH dehydrogenase subunit 1 (*nadh* 1)、NADH dehydrogenase subunit 9 (*nad* 9) 及 ribosomal protein genes (*rps* 10) (Kroon *et al*. 2004; Martin *et al*. 2014; Chen *et al*. 2022)。

目前可提供疫病菌形態或核酸序列相關資訊的網站，包括美國國家生物技術資訊中心 (National Center for Biotechnology Information; NCBI) 的 GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/)、疫病菌專業網站如 IDphy: molecular and morphological identification of *Phytophthora* based on the types (https://idtools.org/phytophthora/index.cfm) (Abad *et al*. 2023) 及 *Phytophthora*-ID (http://phytophthora-id.org/) 等。

疫病菌在台灣出現的紀錄

本段的早期內容主要參考澤田氏 (Sawada 1911, 1914, 1915, 1916, 1919a, 1919b, 1927, 1931, 1936, 1941, 1942a, 1942b, 1943)，與何漢興博士 (美國紐約州立大學退休教授) 等人 (Ho 1990, 1992; Ho *et al*. 1995) 發表的文章，1990 年之後則彙整各篇發表與台灣有關的疫病菌文獻，並均以文獻註記。台灣的疫病菌除了 *P. cyperi*、*P. leersiae*、*P. macrospora* 及 *P. lepironae* 為早年 (1950 之前) Sawada 發表之後就不曾再被發現。而 *P. boehmeriae* 與 *P. castaneae* 則因無保存良好的菌株以供研究，其餘 34 種台灣產疫病菌親緣關係與分支群區分，詳如圖 2 之親緣關係樹。另本文所列植物學名，皆以引用文獻所列為依據。

Phytophthora infestans (Mont.) de Bary

屬於分支群 1 (Brasier *et al*. 2022)。1908 年川上氏 (Kawakami) 與鈴木氏 (Suzuki) 在馬鈴薯與番茄上發現 (Kawakami & Suzuki 1908)。該菌具有全乳突的孢囊，為卵形或橢圓形，孢囊易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長適溫為 18–20℃，最高 25℃ (Ann *et al*. 1998b)。原存在台灣的菌系為 US1，配對型為 A1；但 1997年有新菌系 (US11) 入侵 (Jyan *et al*. 2002, 2004)，目前存在台灣的菌株僅有 A1 配對型，生長溫度最高可達 27−28℃ (Ann *et al*. 1998a, 2010b)。

Phytophthora cyperi (Ideta) Ito

分支群不明 (Brasier *et al*. 2022)。1908 年川上氏與鈴木氏在莎草 (*Cyperus tegetiformis*) 發現 (Kawakami & Suzuki 1908)，其後未曾於台灣發現。該菌具有半乳突的孢囊，為卵形或橢圓形，孢囊易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)；有性生殖為異絲或同絲型不明，藏精器著生方式多為側著型。不曾被培養過，被認為親緣較近於露菌 (Brasier *et al*. 2022)。

Phytophthora colocasiae Racib.

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。1911 年澤田氏在芋頭 (*Colocasia esculenta*) 發現

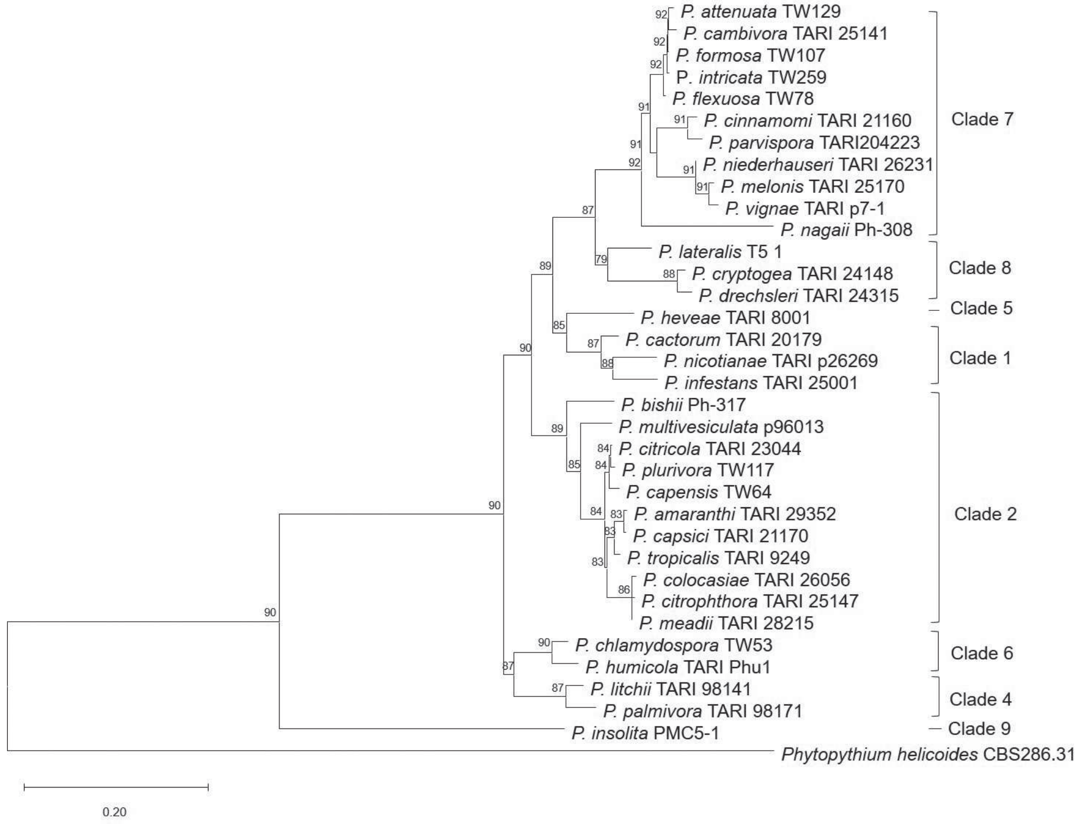

圖 2. 台灣產疫病菌之類緣關係樹。利用近鄰結合法 (neighbor-joining) 進行以核醣體非轉錄區間 (ITS1-5.8S rDNA-ITS2) 核酸序列建構，*Phytopythium helicoides* 為外群 (outgroup)。

Fig. 2. Phylogenetic tree of *Phytophthora* spp. isolated from Taiwan. Based on the analysis of their internal transcribed spacer (ITS) sequences (ITS1-5.8S rDNA-ITS2) by using the neighbor-joining method with *Phytopythium helicoides* being the outgroup. Numbers on the branches represent the bootstrap values obtained from 1,000 replicates (only values greater than 70% are shown).

(Sawada 1911)，爾後在台灣的芋頭植株很常見 (Ho *et al*. 1995)。具有全乳突的孢囊，為卵形、長橢圓形或紡錘形，孢囊易脫落，孢囊梗長度 8–27 µm；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25–30 及 32–33℃。

Phytophthora nicotianae Breda de Haan (= *P. parasitica*)

屬於分支群 1 (Brasier *et al*. 2022)。1914 年澤田氏在青蔥 (*Allium fistulosum*) 發現，當時命名為 *P. allii* (Sawada 1914)，後來他在多種作物發現類似該菌的疫病菌，但分別命名為不同新種，包括 *P. melongenae* 1915、*P. tabaci* 1927、*P. formosana* 1942b、*P. lycopersici* 1942、*P. murrayae* 1942、*P. ricini* 1942、*P. nicotianae* 1942、*P. parasitica* 1944 及 *P. taihokuensis* 1959 (Ho *et al*. 1995)，經 Waterhouse (1963) 仔細比對後，認為都是同一種菌，將之皆歸入 *P. nicotianae*。該菌具有明顯全乳突的孢囊，為球形、寬卵形或倒梨形，孢囊不易脫落，具有球形厚膜孢子，也有較小而呈卵形的菌絲膨大體；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10–12、25–30 及 36–37℃。Ho & Jong (1989) 詳細比較了 *P. nicotianae* (1896 年被命名) 與

P. parasitica (1913 年被命名) 各多個菌株的形態，認為這 2 種菌應是同一種疫病菌。雖然後者在植病學界較被廣泛使用，但由於 *P. nicotianae* 先被命名，依國際生物命名規則之先命名者具有優先權，故 *P. parasitica* 最終被更名為 *P. nicotianae*，而 *P. parasitica* 是 *P. nicotianae* 的同物異名 (synonym)。

Phytophthora citrophthora (R. E. Smith & E. H. Smith) Leonian

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。1915 年澤田氏在枸櫞 (又稱香水檸檬，*Citrus medica*) 果實發現 (Sawada 1915)，爾後在台灣中北部的柑桔園很常見 (Ann 1980, 1984)。該菌具有全乳突的孢囊，為檸檬形、橢圓形、雙裂形或不整形，孢囊不脫落或少脫落，孢囊梗長度為 5–10 μm；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25–30 及 33–34℃。

Phytophthora palmivora (E. Butler) E. Butler

屬於分支群 4 (Brasier *et al*. 2022)。1916 年澤田氏在無花果 (*Ficus carica*) 的果實上發現，將該菌命名為 *P. carica* (Hara) Hori ex Sawada，但無標本留下 (Sawada 1916)。爾後 Waterhouse (1963) 依澤田氏之描述，認為該菌應為 *P. palmivora* 的同物異名。在台灣，1974 年感染木瓜 (*Carica papaya*) 的疫病菌才被正式鑑定為 *P. palmivora* (Huang & Chen 1974)，該菌目前在台灣的寄主作物甚多，具有明顯全乳突的孢囊，為卵形、倒梨形或橢圓形，孢囊易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)，球形的厚膜孢子眾多；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型，絕大部分菌株為 A1 配對型 (Ann *et al*. 2014)。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、30 及 35℃。

Phytophthora lepironiae Sawada

分支群不明 (Brasier *et al*. 2022)。1919 年澤田氏在莎草科石龍芻屬下的光果石龍 (*Lepironia muronata*) 發現 (Sawada 1919b)，但由於描述不足，故未被 Waterhouse 列入所整理的疫病菌種類 (Waterhouse 1963)，在台灣後來未被分離到，也不曾被納入親緣分析。該菌不曾被單純培養，只在寄主作物上觀察到，半乳突的孢囊為卵形或卵球，孢囊易脫落，孢囊梗短；藏精器著生方式為側著型 (Ho *et al*. 1995)。

Phytophthora boehmeriae Sawada

屬於分支群 10 (Brasier *et al*. 2022)。1927 年澤田氏在苧麻 (*Boehmeria nivea*) 發現並予以命名新種，其後未曾於台灣發現 (Sawada 1927)。該菌具有明顯全乳突的孢囊，為卵形或亞球形，孢囊易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)，有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 9、25 及 34℃。

Phytophthora cactorum (Lebert & Cohn) Schröt.

屬於分支群 1 (Brasier *et al*. 2022)。1927 年澤田氏在苧麻 (*Boehmeria nivea*) 發現 (Sawada 1927)，爾後伊藤氏 (Ito) 在台灣發現有數種寄主均屬於薔薇科的植物 (Ito 1936)。該菌具有全乳突的孢囊為寬卵形或倒梨形，易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)，厚膜孢子無或很少；有性生殖為同絲型，藏精器著生以側著型占多數。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25–30 及 32–33℃。

Phytophthora citricola Sawada

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。1927 澤田氏在甜橙 (*Citrus sinensis*) 與桶柑 (*C. tankan*) 發現 (Sawada 1927)，爾後在台灣亦於草莓發現。在培養基的菌落外觀常呈現菊花花紋狀，具有半乳突的孢囊，為卵形、倒梨形或不規則形，孢囊不易脫落；有性生殖為同絲型，藏精器著生以側著型占大多數。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25 及 32–33℃。然而符合此種疫病菌形態描述的菌株眾多，故目前被認為是複合種 (species complex)，已陸續被定名為多個種 (Jung & Burgess 2009)。

Phytophthora macrospora (Saccardo) Ito &Tanaka

分支群不明 (Brasier *et al*. 2022)。1927 澤

田氏在水稻發現，爾後在台灣不曾見，也不曾被納入核酸序列比對分析。該菌不曾被單純培養，只在寄主作物上觀察到，未見孢囊；藏卵器很大 (直徑 > 50 μm)，藏精器著生方式為側著型。

Phytophthora cinnamomi Rands

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。1936 年澤田氏在金雞納樹苗 (*Cinchona* spp.) 發現，起初鑑定為 *P. cinchonae* (Sawada 1936)，但由於描述不全 (特別缺少有性世代)，而且缺少菌株或標本以供檢視，Waterhouse (1963) 依澤田氏的原始描述，並與金雞納樹屬植物相同病害的數個病原菌形態比較，認定該菌是 *P. cinnamomi* (1922 年命名) 的同物異名；爾後在台灣發現許多作物被該菌危害。該菌菌落呈玫瑰花瓣狀，菌絲常呈現珊瑚形，無乳突的孢囊為卵形、倒梨形或不規則形，孢囊不易脫落，具有內增生的孢囊，球形厚膜孢子薄壁，亦具有大小差異大，群聚狀或單一存在的球形菌絲膨大體；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型，單室或雙室。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25 及 32–33℃。由於 *P. cinnamomi* 的配對型 A_1 與 A_2 在台灣相當普遍，且除了在酪梨引發嚴重病害之外，其它分離來源的植物仍呈現健康狀態，故台灣被認為是此種疫病菌的發源地圈之內 (Ko *et al*. 1978a)；但德國學者 Jung 等人調查台灣多處林地的疫病菌，發現 *P. cinnamomi* A_1 配對型多出現在山區原始林或低海拔的林地，且較少會造成病害，而 A_2 配對型則侷限於低海拔林地且常造成病害，故認為 *P. cinnamomi* A_2 配對型是外來入侵種 (Jung *et al*. 2017a)。

Phytophthora leersiae Sawada

分支群不明 (Brasier *et al*. 2022)。1941 年澤田氏在假稻屬的李氏禾 (*Leersia hexandra*) 發現並予以命名新種 (Sawada 1941)，但由於描述不足，故未被 Waterhouse 列入所整理的疫病菌種類 (Waterhouse 1963) ，之後在台灣不曾再出現，也不曾被納入疫病菌親緣分析。該菌不曾被單純培養，只在寄主作物上觀察到，孢囊不明，藏卵器很大 (平均直徑 61 μm) 且厚壁 (4–7 μm)，藏精器著生方式為底著型。

Phytophthora litchii (Chen ex Ko *et al*.) Voglmayr *et al*.

屬於分支群 4 (Brasier *et al*. 2022)。1961 年陳氏在荔枝 (*Litchi chinensis*) 發現該菌，並予以命名新屬的一個新種 *Peronophythora litchii* Chen (Chen 1961)，多年後被移轉至疫病菌屬 (Göker *et al*. 2007; Kroon *et al*. 2012; Ye *et al*. 2016)。該菌全乳突的孢囊，為卵形或橢圓形，孢囊易脫落，孢囊梗短 (< 5 μm)；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 15、27–28 及 32℃。此露疫病菌 (*P. litchii*) 原先是被命名為 *Peronophythora litchii*，因為其孢囊柄的形態、分化及分枝方式與 *Peronospora* 屬的露菌很相似，但卵孢子形態與可在人工培養基培養的特性卻與疫病菌屬相同，故 Ko 等人創立一新科 *Peronophythoraceae*，將該菌移屬於該科之下 (Ko *et al*. 1978b)。然而有些學者依據孢囊與有性世代的產生方式認為應放在疫病菌屬 *Phytophthora* 之內 (Chi *et al*. 1982; Huang *et al*. 1983; Ho *et al*. 1984)，爾後許多學者利用核酸序列分析所構建的親緣關係認為該菌仍以列入疫病菌屬為宜 (Voglmayr 2003; Zhang *et al*. 2007)，進一步的分析結果顯示該菌屬於疫病菌屬的第 4 分支群 (Clade 4) (Göker *et al*. 2007; Kroon *et al*. 2012)。近年關於此菌的基因體與轉錄體分析研究更提供了充分的證據，故已被修訂為 *Phytophthora litchii* (Ye *et al*. 2016; Sun *et al*. 2017)。

Phytophthora capsici Leonian

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。1977 年高氏與呂氏在胡椒發現該菌 (Kao & Leu 1977)，爾後發現寄主作物甚多，全屬於配對型 A_1，但在 2007 年之後陸續出現 A_2 型 (Ann *et al*. 2008b) 與同絲偏 A_2 型 (Ann *et al*. 2010a) 菌株 (單菌株培養可產生少量卵孢子，若與 A_1 型配對則可產生大量卵孢子)。孢囊具有半乳突，孢囊形狀與大小多樣化 (有時有 2

個乳突)，為球形、卵形、倒卵形、倒梨形、橢圓形或不規則形，孢囊易脫落或部分脫落的孢囊梗較長 (大約 23–51 μm)；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、25–30 及 37–38℃。

Phytophthora vignae Purss

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。1977 年高氏與呂氏在豇豆 (*Vigna sinensis*) 上發現 (Kao & Leu 1977)，寄主作物侷限於豇豆類作物。該菌在培養基上不易產生孢囊，但在水中則可大量產生，孢囊無乳突，為卵形或橢圓形，孢囊不脫落，具有內增生的孢囊；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為底著型，單室或雙室，體大 (平均 19 × 15 μm)。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、25–30 及 35℃。

Phytophthora melonis Katsura

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。在台灣，高氏與呂氏最早發現胡瓜疫病，初鑑定病原菌為 *P. drechsleri* (Kao & Leu 1977)，後來更正為 *P. melonis* (Kao *et al*. 1982)。但因當時此 2 種菌在鑑定上相當混淆，而後分子生物技術發達，在 2007 年，Ho 等人亦重新描述 *P. melonis*，該菌的分類爭論才告停息 (Ho *et al*. 2007)。其實，*P. melonis* 與 *P. drechsleri* 兩菌的形態特徵有顯著不相同 (Ann *et al*. 2016c; Huang *et al*. 2019)。該菌孢囊無乳突，為卵形或橢圓形，不脫落，常見內增生的孢囊；有性生殖主要為異絲型，但有時剛從田間分離的新鮮菌株會自孕產生少量卵孢子，藏精器著生方式為底著型；該菌常有指狀不規則形的菌絲膨大體。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8、28 及 36℃ (Ann *et al*. 2016c; Huang *et al*. 2019)。

Phytophthora cryptogea Pethybridge & Lafferty

屬於分支群 8 (Brasier *et al*. 2022)。1978 年由高氏在非洲菊 (*Gerbera jamesonii*) 發現，寄主植物種類多 (Kao 1978)。該菌無乳突的孢囊為卵形或倒梨形，孢囊不脫落，少有內增生的孢囊，孢囊柄常有分枝，常有不規則形小球狀的菌絲膨大體；有性生殖為異絲型，但台灣的菌株未見產生有性世代。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25–30 及 33–34℃ (Huang *et al*. 2019)。後來此種疫病菌被認為是複合種 (species complex) (Mostowfizadeh-Ghalamfarsa *et al*. 2010)，陸續被定名為多個種，且有許多雜交種 (hybrid) (Safaiefarahani *et al*. 2016)。

Phytophthora castaneae Katsura & Uchida (= *P. katsurae*)

屬於分支群 5 (Brasier *et al*. 2022)。1979 年由柯氏與張氏在山區森林土分離得到，未曾發現在台灣造成任何植物病害 (Ko & Chang 1979)。該菌的孢囊為全乳突，寬卵形、倒梨形或不對稱形，孢囊不脫落；有性生殖為同絲型，在培養基易產生大量有性器官，藏卵器稍小呈梨形而基部長錐狀，外表有疣狀物，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 5–10、25–30 及 35℃。本菌在台灣起初鑑定為 *P. katsurae*，爾後被更名為 *P. castaneae* (Pennycook 2012)，因為兩者為同物異名，其中後者較早命名。

Phytophthora insolita Ann & Ko

屬於分支群 9 (Brasier *et al*. 2022)。1980 年安氏與柯氏在柑桔園田土分離得到，並命名為新種，但無病害紀錄 (Ann & Ko 1980)。無乳突的孢囊為卵形或倒梨形，孢囊不脫落，在水中可產生球形的菌絲膨大體；有性生殖為孤雌生殖，在培養基易產生大量藏卵器與卵孢子，但無藏精器。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10–12、25–30 及 39℃。

Phytophthora heveae Thompson

屬於分支群 5 (Brasier *et al*. 2022)。1980 年與 1984 年安氏在柑桔園土壤中分離得到該菌 (Ann 1980, 1984)，在台灣並無病害紀錄。全乳突的孢囊為寬卵形、倒梨形或不對稱形，孢囊不脫落；有性生殖為同絲型，在培養基易

產生大量有性器官，藏卵器稍小呈梨形而基部長錐狀，藏精器著生方式為底著型，多為單室偶有雙室。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25–30 及 33–34℃。

Phytophthora humicola Ko & Ann

屬於分支群 6 (Brasier *et al*. 2022)。柯氏與安氏 1977–1981 年在柑桔園等多處土壤分離得到，並命名為新種，但對柑桔無致病力 (Ko & Ann 1985)。該菌無乳突的孢囊為卵形或倒梨形，孢囊不脫落，具有內增生的孢囊；有性生殖為同絲型，在培養基易產生大量有性器官，藏卵器稍大，藏精器著生方式多為側著型，多為單室偶有雙室。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10–12、25–30 及 35–36℃。

Phytophthora drechsleri Tucker

屬於分支群 8 (Brasier *et al*. 2022)。1977 年高氏與呂氏在胡瓜發現該菌，但實則鑑定有誤，因爾後發現感染瓜類的無乳突孢囊疫病菌應為 *P. melonis* (Kao *et al*. 1982; Ann *et al*. 2016c; Huang *et al*. 2019)，故真正的 *P. drechsleri* 最早應為 Ann 於 1990 年從聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*) 病根上分離的菌種 (Huang *et al*. 2019)。該菌在台灣有多種寄主作物 (Ann *et al*. 2010d; Huang *et al*. 2019)。在培養基不易產生孢囊，但在水中則可大量產生，孢囊無乳突，為卵形或倒梨形；孢囊不脫落，少有內增生的孢囊，但有時候有棍棒狀的構造從孢囊梗的基部長出 (Huang *et al*. 2019)，偶爾具有球形或卵形的菌絲膨大體。有性生殖為異絲型，但有時剛從田間分離新鮮的菌株會自孕產生卵孢子，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8、28 及 38℃ (Huang *et al*. 2019)。

Phytophthora meadii McRae

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。安氏在亮葉粗肋草 (*Aglaonema nitidium*) 發現 (Ann 1992a)。全乳突的孢囊為卵形、倒梨形、橢圓形、不規則形或帶有 2 個乳突，孢囊易脫落，孢囊梗 5–30 µm；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8–10、25 及 31–32℃。

Phytophthora tropicalis Aragaki & Uchida

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。安氏 1994 年在西洋杜鵑 (*Rhododendron hybridum*) 上分離到形態非典型的 *P. capsici* (Ann 2000a)，後來證實為 *P. tropicalis* (Ann *et al*. 2010e)。半乳突的孢囊，為卵形、倒梨形、橄欖形或有 2 個乳突，孢囊易脫落，孢囊梗較長 (> 50 µm)；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 12、24–28 及 32℃。

Phytophthora multivesiculata Ilieva *et al*.

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。陳氏等人 1996 年在虎頭蘭 (*Cymbidium hybridium* Hort.) 發現 (Chern *et al*. 2011)。無乳突的孢囊多為卵形，孢囊不脫落，有外增生的孢囊，可產生鏈狀的菌絲膨大體；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、24 及 29℃。

Phytophthora cambivora (Petri) Buisman

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。黃氏等人 2005 年在台灣山櫻花 (*Prunus campanulata*) 發現 (Huang *et al*. 2012)。無乳突的孢囊多為倒梨形，孢囊不脫落，有內增生的孢囊，可產生不規則鏈狀的菌絲膨大體；有性生殖為異絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8、24 及 32℃。

Phytophthora amaranthi Ann & Ko

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。安氏等人 2007 年在莧菜 (*Amaranthus tricolor*) 發現該菌 (Ann *et al*. 2008a, 2016a)。半乳突的孢囊為卵形或倒梨形，有時有 2 個乳突，孢囊不脫落或少許脫落 (孢囊梗 0.1–11.7–45 µm)；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8、24 及 32℃。

Phytophthora lateralis Tucker & Milbrath

屬於分支群 8 (Brasier *et al*. 2022)。英國學者 Brasier 等人 2008 年在台灣高山的森林土壤誘釣到該菌 (Brasier *et al*. 2010)，但無病害的紀錄。無乳突的孢囊為卵形或倒梨形，有時為窄長形，孢囊不脫落或少許脫落 (孢囊梗 2.5–7.5 μm)，具有厚膜孢子；有性生殖為同絲型 (或不孕型)，藏精器著生方式 (可能) 為側著型。菌絲生長最適與最高溫度分別為 17.5–22.5 與 25℃。

Phytophthora parvispora Scanu & Denman (= variant of *P*. *cinnamomi*)

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。1984 年與 2016 年安氏等人報告 1976–1980 年在柑桔果園的罹病組織分離到該菌 (Ann 1984; Ann *et al*. 2016b)，但其諸多形態與生理特性與典型的 *P. cinnamomi* 有相當差異，而被註明為 *P. cinnamomi* 的一個變異種 (variant) (Ann & Ko 1985)。數年後 Kröber & Marwitz (1993) 在酒瓶蘭 (*Beaucarnea* sp.) 的莖基部分離到類似的疫病菌，將其命名為 *Phytophthora cinnamoni* var. *parvispora* Kröber and Marwitz。爾後 Scanu 等人從草莓樹 (*Arbutus unedo*) 亦分離到形態相似的疫病菌，但由於 ITS 與 β-tubulin 等序列與典型 *P. cinnamomi* 的序列差異甚大，因而重新命名為一新菌種 *Phytophthora parvispora* sp. nov. (Scanu *et al*. 2014)，同時認為台灣為該菌之發源地。據此，安氏等人在 2016 年將上述『*P. cinnamomi* 的一個變異種』學名更正為 *P. parvispora* (Ann *et al*. 2016b)。該菌無乳突的孢囊為卵形或橢圓形，孢囊不脫落，具有珊瑚狀菌絲膨大體，而厚膜孢子較小 (12.5–32.5 μm)；有性生殖為異絲型或不孕型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、27–32 及 35℃。

Phytophthora niederhauserii Abad & Abad

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。林氏等人 2006–2016 年在無花果 (*Ficus carica*) 腐敗的莖基與根部分離得到，並證明其致病性 (Lin *et al*. 2019)。無乳突的孢囊，為卵形、倒梨形、橢圓形或不規則形，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊，具有鏈狀菌絲膨大體；有性生殖為異絲型 (或不孕型)，藏精器著生方式為底著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 10、30 及 37℃。

Phytophthora nagaii Rahman *et al*.

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。袁氏等人 2015 年在玫瑰 (*Rosa rugosa*) 的腐敗的莖基與根部分離得到 (Yuan *et al*. 2020)。無乳突的孢囊為卵形或橢圓形，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊，具有少量的菌絲膨大體；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式多側著。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 8、28 及 33℃。

Phytophthora bishii Abad *et al*. (= *Phytophthora bisheria*)

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。袁氏等人 2015 年在玫瑰的腐敗的莖基與根部分離得到 *P. bisheria* (Yuan *et al*. 2020)。全乳突的孢囊為卵形或倒梨形，孢囊不脫落；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為側著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 16、28 及 34℃。

此外，Jung 等人於 2013 年在台灣山區 25 處天然或半天然林的根部、土壤及 25 條河水以誘釣法分離得到多種疫病菌，於 2017 年發表鑑定出 27 種，其中 *P. citrophthora*、*P. tropicalis*、*P. palmivora*、*P. heveae*、*P. cinnamomi* 及 *P. parvispora* 等 6 種為台灣原有記錄種，4 種為台灣新記錄種 (但其中的 *P. castaneae* = *P. katsura* 應為舊原有記錄種)，另外 4 種屬於分支群 7 的疫病菌為新種疫病菌，其他 13 種尚未能明確鑑定，疑似為未知種或雜交種 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)，故台灣又增添 7 種新記錄的疫病菌如下：

Phytophthora capensis Bezuid *et al*.

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。文中並未描述形態細節 (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora chlamydospora Brasier & Hansen

屬於分支群 6 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人於 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。文中並未描述形態細節 (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora plurivora Jung & Burgess

屬於分支群 2 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。文中並未描述形態細節 (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora attenuata Jung *et al*.

屬於分支群 7。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。無乳突的孢囊，為卵形、長卵形、倒梨形、檸檬形、橢圓形或亞球形，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊；有性生殖為同絲型，藏卵器基部多為長錐狀，多數為球形或亞球形，一部分為長形 (38%)，少部分藏卵器外表有疣狀凸起，藏精器著生方式多側著。菌絲生長最適與最高溫度分別為 25 與 30–35℃ (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora flexuosa Jung *et al*.

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。無乳突的孢囊，為卵形、長卵形、倒梨形、檸檬形或橢圓形，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊，常可見管狀至珊瑚狀的菌絲膨大體；有性生殖為同絲型，藏卵器外觀有時呈現彎曲波良狀 (25%)，藏卵器基部多為長錐狀或漏斗形 (48%)，藏卵器外表常有疣狀凸起 (66%)，藏精器著生方式為側著型。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 < 5、25 及 30–35℃ (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora formosa Jung *et al*.

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。無乳突的孢囊為卵形、長卵形、倒梨形、檸檬形、橢圓形或亞球形，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊；有性生殖為同絲型，藏卵器基部多為長錐狀，部分藏卵器外表有疣狀凸起，藏精器著生方式絕大多數為側著型。菌絲生長最適與最高溫度分別為 25 與 30–35℃ (Jung *et al*. 2017c)。

Phytophthora intricata Jung *et al*.

屬於分支群 7 (Brasier *et al*. 2022)。德國學者 Jung 等人 2013 年在台灣高山森林根圈土壤分離或誘釣得到 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。無乳突的孢囊為卵形、長卵形、倒梨形、檸檬形、橢圓形或亞球形，少數有 2–3 個乳突，孢囊不脫落，可產生內增生的孢囊；有性生殖為同絲型，藏精器著生方式為側著型，且藏精器柄常與藏卵器柄交纏 (44%)。菌絲生長最低、最適及最高溫度分別為 < 5、25 及 30–35℃ (Jung *et al*. 2017c)。

前述台灣早年發現的作物疫病菌的種類中，*P*. *cyperi*、*P*. *leersiae*、*P*. *macrospora* 及 *P*. *lepironae* 等 4 種菌，因為沒有保存良好的菌株以供研究，被視為無法培養與遺失的菌株 (unculturable and lost species) 而未被納入核酸序列比對分析 (Bourret *et al*. 2018)，也很少被提及 (Kroon *et al*. 2012; Martin *et al*. 2012; Yang *et al*. 2017; Brasier *et al*. 2022; Chen *et al*. 2022; Coomber *et al*. 2023)，不過也有研究認為 *P*. *cyperi* 可能是露菌 (Ho *et al*. 2004; Bourret *et al*. 2018)。

P. *melonis*、*P*. *drechsleri* 及 *P*. *cryptogea* 在形態的鑑定上易混淆，由於早年日本疫病菌專家桂氏 (K. Katsura) 對 *P*. *melonis* 標準菌株形態特性描述有誤，導致在台灣胡瓜引發嚴重疫病之菌株，最初被高氏與呂氏鑑定為 *P*. *drechsleri* (Kao & Leu 1977)，後來才更正為 *P*. *melonis* (Kao *et al*. 1982)，該菌造成瓜類嚴重的基腐與果腐病，而真正的 *P*. *drechsleri* 又有時會被鑑定為 *P*. *cryptogea*。利用此三者的 ITS1-5.8S rDNA-ITS2 序列建構親緣關係樹則可明顯將之區分開來，並有助於釐清這

3 種疫病菌在形態與生理的差異 (Huang *et al*. 2019)。

此外，關於疑似種與雜交種的鑑定，陳氏等人在 1998 年首次報告一種危害枇杷的非典型 *P. parasitica* (Chern *et al*. 1998)，而後義大利學者 Man in't Veld 鑑定出該菌為雜交疫病菌 *P. cactorum* × *P. parasitica* (Man in't Veld 2001)；德國學者 Jung 等人亦於 2013 年在台灣分離得雜交疫病菌，並於 2017 年發表鑑定出另外 5 種屬於 Clade 9 的雜交種 (Jung *et al*. 2017a)。有關疫病菌雜交種的分類定位尚未明確，故不放入本文說明。

台灣疫病菌之寄主範圍

疫病菌的排列順序依照該菌對台灣作物危害的嚴重性與寄主範圍多寡為主，同一種菌的寄主種類排列次序先依栽培特性分類 (果樹、蔬菜、花卉與觀葉作物、保健與香草植物、特用作物以及一般灌木或喬木)，再依寄主學名及病害發表年代 (因 1970 以前發表之報告疑問甚多) 先後次序排列。每一病害列名之引用文獻，除 Sawada、Ito 及 Ogawa 等人早年發表之報告保留外，其餘均需完成柯霍氏法則程序，才予以引用刊登；如果先前有學者報告自植物上分離到疫病菌，但未完成接種程序，則不予引用；例外情形為有後人完成相同病害之完整柯霍氏法則程序之報告發表，前人報告則被本文接受並納入引用文獻，以告知讀者該病害在更早年代即在台灣出現。

Phytophthora nicotianae (= *P. parasitica*)

寄主：85 屬 (genera) 103 種 (species)。包括：

1. 果樹：鳳梨 (*Ananas comosus*) (Chen 1966; Wen 1973; Chang 1983)、柑桔 (*Citrus* spp.) (Wen 1973; Huang & Chen 1974; Ann 1980; Kao *et al*. 1982; Chang 1983) (種類包括酸桔、廣東檸檬、柳橙、椪柑、桶柑、海梨、文旦、檸檬、萊姆及茂谷等等) (Ann 1984)、百香果 (*Passiflora edulis*) (Leu & Lee 1976; Lin & Chang 1982; Kao *et al*. 1982; Huang & Lin 2017)、番石榴 (*Psidium guajava*) (Kao *et al*. 1982; Ann & Ko 1988)、枇杷 (*Eriobotrya japonica*) (Chern *et al*. 1998)、奇異果 (獼猴桃) (*Actinidia chinensis*) (Ann *et al*. 2010d)、桃金孃 (*Rhodomyrtus tomentosa*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a) 及草莓 (*Fragaria chiloensis* var. *ananassa*) (Ann *et al*. 2012b)。至於洛神葵 (*Hibiscus sabdariffa*)，黃氏 (Huang 1975) 有分離得到此菌但未完成接種，而在《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。
2. 蔬菜：蔥 (*Allium fistulosum*) (Sawada 1914, 1919a)、韭菜 (*Allium odorum*) (Sawada 1914)、番茄 (*Solanum lycopersium*) (Sawada 1942a, 1943)、茄子 (*Lycopersicon esculentum*) (Sawada 1914; Huang 1975; Kao *et al*. 1982; Chang 1983; Ann & Ko 1988) 及芝麻 (*Sesamum indicum*) (Chang & Hsieh 1977)。至於金針菜 (*Hemerocallis fulva*) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。
3. 花卉與觀葉作物：月橘 (七里香) (*Murraya paniculata*) (Sawada 1943)、蝴蝶蘭 (*Phalaenopsis* spp.) (Chen 1978; Chen & Hsieh 1978; Ann 1995)、滿天星 (*Gypsophila paniculata*) (Chang 1983; Ann & Liu 1993)、康乃馨 (*Dianthus caryophyllus*) (Ann *et al*. 1990)、百合 (*Lilium asiatic* hybrid, *L. oriental* hybrid, & *L. longiflorum*.) (Ann & Ko 1990b; Ann *et al*. 1992)、火鶴花 (*Anthurium andreanum*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992a)、銀后粗肋草 (*Aglaonema commutatum*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992a)、嘉德麗蘭 (*Cattleya* spp.) (Ann & Ko 1990b; Ann *et al*. 2010d)、矢車菊 (*Centaurea cyanus*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1996)、春石斛 (*Dendrobium* spp.) (Ann & Ko 1990b; Ann 1995)、美國石竹 (*Dianthus barbatus*) (Ann 1992b)、日本石竹 (*Dianthus japonicus*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992b)、萬年青 (黛粉葉) (*Dieffenbachia maculata*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992a)、黃金葛 (*Epipremnum aureum*) (Ann & Ko

1990b; Ann 1992a)、蔓綠絨 (*Philodendron* spp.) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992a)、聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992b)、八角金盤 (*Fatsia* sp.) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000b)、三爪藤 (炮仗花) (*Pyrostegia venusta*) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000a)、螃蟹蘭 (*Schlumbergera bridgesii*) (Ann & Ko 1990b; Ho 1990; Ann 1992b)、銀葉菊 (*Senecio cineraria*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1996)、大岩桐 (*Sinningia speciosa*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992b)、香雪球 (*Torenia fournieri*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1992b)、非洲堇 (*Saintpaulia ionantha*) (Ann 1992b)、建蘭 (素心蘭、四季蘭) (*Cymbidium ensifolium*) (Ann 1995)、報歲蘭 (*Cymbidium sinense*) (Ann 1995)、秋石斛 (*Dendrobium phalaenopsis*) (Ann 1995)、日日春 (*Catharanthus roseus*) (Chen *et al*. 1997)、沙漠玫瑰 (*Adenium obesum*) (Ann 2000a)、口紅花 (*Aeschynanthus* sp.) (Ann 2000a)、單藥花 (*Aphelandra* sp.) (Ann 2000a)、九重葛 (*Bougainvillea* spp.) (Ann 2000a)、朱槿 (*Hibiscus rosa-sinensis*) (Ann 2000a)、天鵝絨 (*Ornithogalum thyrsoides*) (Ann 2000a)、變葉木 (*Codiaeum variegatum*) (Ann 2000b)、彩葉草 (*Coleus blumei*) (Ann 2000b)、密葉竹蕉 (*Dracaena deremensis*) (Ann 2000b)、椒草 (*Peperomia japonica*) (Ann 2000b)、白鶴芋 (*Spathiphyllum kochii*) (Ann & Tsai 2000)、瑪格麗特菊 (*Chrysanthemum frutescens*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、金露花 (*Duranta repens*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、非洲鳳仙花 (*Impatiens walleriana*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、星辰花 (水晶花) (*Limonium sinuatum*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、垂笛花 (*Justicia rizzinii*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、文心蘭 (*Oncidium* sp.) (Ann *et al*. 2005)、粉萼鼠尾草 (*Salvia farinacea*) (Ann *et al*. 2005; Ann *et al*. 2010e)、夏菫 (*Torenia fournieri*) (Ann *et al*. 2005, 2018a)、金錢樹 (*Zamioculcas zamii folia*) (Feng *et al*. 2006)、玲瓏扶桑 (*Anisodontea capensis*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、鳥尾花 (*Crossoandra infundibuliformis*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、愛元果 (巴西之吻，綠元寶) (*Dischidia pectenoides*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、勳章菊 (*Gazania splendens*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、長壽花 (*Kalanchoe blossfeldiana*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、馬櫻丹 (*Lantana camara*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、紅蟬 (*Mandevilla* sp.) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、拖鞋蘭 (*Paphiopedilum* sp.) (Ann *et al*. 2010d)、藍雪花 (*Plumpago auriculata*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、天堂鳥 (*Strelizia reginae*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、美女櫻 (*Verbena hybrida*) (Ann *et al*. 2010d, 2018a)、馬拉巴栗 (*Pachira macrocarpa*) (Chern *et al*. 2014)、燈籠扶桑 (*Abutilon megapotamicum*) (Ann *et al*. 2018a)、木芙蓉 (*Hibiscus mutabilis*) (Ann *et al*. 2018a)、袋鼠花 (*Nematanthus* ‘Cheerio’) (Ann *et al*. 2018a)、伯利恆之星 (*Ornithogalum saundersiae*) (Ann *et al*. 2018a)、繁星花 (*Pentas lanceolata*) (Ann *et al*. 2018a) 及海豚花 (*Streptocarpus saxorum*) (Ann *et al*. 2018a)。至於仙人掌 (*Cactus* sp.) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但在《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。

4. 保健與香草植物：昂天蓮 (*Abroma augusta*) (Hsieh 1982)、薰衣草 (*Lavandula pinnata*) (Tsay 2002)、香林投 (*Pandanus amaryllifolius*) (Ann *et al*. 2005)、香椿 (*Toona sinensis*) (Ann *et al*. 2008c, 2013)、刺蔥 (食茱萸) (*Zanthoxylum ailanthoides*) (Ann *et al*. 2008c, 2013)、胡椒木 (*Zanthoxylum piperitum*) (Ann *et al*. 2010e)、地黃 (*Rehmannia glutinosa*) (Ann *et al*. 2012c) 及綬草 (*Spiranthes sinensis*) (Lo & Kuo 2012)。
5. 特用作物：蓖麻 (*Ricinus communis*) (Ogawa 1940; Sawada 1942b)、煙草 (*Nicotiana tabacum*) (Sawada 1943)、荖花 (*Piper betle*) (Chang & Shu 1981; Chang 1983; Ann *et al*. 2002)、泡桐 (*Paulownia tomentosa*) (Hsieh 1983) 及荖葉 (*Piper betle*) (Ann *et al*. 2002)。
6. 一般灌木或喬木：銀合歡 (*Leucaena leuco-*

cephala) (Hsieh 1986) 與木麻黃 (*Casuarina* spp.) (Hsieh 1987)。

Phytophthora palmivora

寄主：35 屬 48 種。包括：

1. 果樹：無花果 (*Ficus carica*) (Sawada 1916; Ann *et al*. 2010d)、木瓜 (*Carica papaya*) (Huang & Chen 1974; Huang 1975; Huang *et al*. 1976; Ann *et al*. 2014)、蓮霧 (*Syzygium samarangense*) (Lin *et al*. 1983, 1984)、印度棗 (*Zizyphus mauritiana*) (Lin 1984)、柑桔 (*Citrus* spp.) (Ann 1980; Chang 1983) (包括酸桔、廣東檸檬、柳橙、椪柑、桶柑、海梨、文旦、檸檬、萊姆、茂谷及溫州柑等等) (Ann 1984)、檬果 (*Mangifera indica*) (Ann & Ko 1990a) 及酪梨 (*Persea americana*) (Ann *et al*. 2006)。
2. 花卉與觀葉植物：蝴蝶蘭 (*Phalaenopsis* spp.) (Chen 1978; Chen & Hsieh 1978; Ann 1995)、嘉德麗蘭 (*Cattleya* spp.) (Chen & Hsieh 1978; Ann 1995; Yeh *et al*. 1998)、虎頭蘭 (*Cymbidium hookerianum*) (Chen & Hsieh 1978)、萬代蘭 (*Vanda* sp.) (Chen & Hsieh 1978)、九華蘭 (*Cymbidium oiwakensis*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1995)、鐵線蕨 (*Adiantum raddianum*) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000b)、常春藤 (*Hedera helix*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1993)、矮牽牛 (*Petunia hydrida*) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000a)、春蘭 (*Cymbidium formosanum*) (Ann 1995)、藝蘭 (*Cymbidium* sp.) (Ann 1995)、春石斛 (*Dendrobium* spp.) (Ann 1995)、文心蘭 (*Oncidium* spp.) (Ann 1995)、紅鶴蘭 (*Phaius* sp.) (Ann 1995)、拖鞋蘭 (*Paphiopedilum* spp.) (Ann 1995)、薑荷花 (*Curcuma alismatifolia*) (Ann 2000a)、黃蟬 (*Allamanda cathartica*) (Ann *et al*. 2010d, 2018b)、千代蘭 (*Ascocenda* sp.) (Ann *et al*. 2010d)、百合 (*Lilium* spp.) (Ann *et al*. 2010d)、杜鵑 (*Rhododendron* sp.) (Ann *et al*. 2010d, 2018b)、長壽花 (*Kalanchoe blossfeldiana*) (Ann *et al*. 2010d, 2018b)、鵝掌藤 (*Scandent scheffera*) (Ann *et al*. 2010d, 2018b)、馬拉巴栗 (*Pachira macrocarpa*) (Ann *et al*. 2010d; Chern *et al*. 2014)、洋桔梗 (*Eustoma russellianum*) (Ann *et al*. 2018b)、含笑花 (*Michelia figo*) (Ann *et al*. 2018b)、桂花 (*Osmanthus fragrans*) (Ann *et al*. 2018b) 及美女櫻 (*Verbena hybrida*) (Ann *et al*. 2018b)。至於倒掛金鐘 (*Fuchsia magellanica*) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但在《台灣植物病害名彙》有此項寄主的紀錄 (Tzean 2019)。
3. 保健與香草植物：杜仲 (*Eucommia ulmoides*) (Hsieh 1982)、迷迭香 (*Rosmarinus officinalis*) (Ann *et al*. 2008c, 2010e) 及香椿 (*Toona sinensis*) (Ann *et al*. 2008c, 2013)。
4. 特用作物：泡桐 (*Paulownia* sp.) (Hsieh 1983) 與檳榔 (*Areca catechu*) (Ann *et al*. 2017)。

Phytophthora capsici

寄主：17 屬 22 種。包括：

1. 蔬菜：辣椒 (*Capsicum annuum*) (Chang & Hsieh 1977; Leu & Kao 1981; Chang 1983; Ann *et al*. 2010a)、甜椒 (*Capsicum annuum* var. *grossum*) (Kao & Leu 1977; Leu & Kao 1981; Kao *et al*. 1982; Chang 1983; Ann *et al*. 2010a)、茄子 (*Solanum melongena*) (Kao & Leu 1977; Leu & Kao 1981; Kao *et al*. 1982; Chang 1983; Ann *et al*. 2008b, 2010a)、洋蔥 (*Allium cepa*) (Leu & Kao 1981; Ho 1990)、蘆薈 (*Aloe* sp.) (Leu & Kao 1981; Kao *et al*. 1982)、西瓜 (*Citrullus vulgaris*) (Leu & Kao 1981; Ann *et al*. 2010c, 2016c)、番茄 (*Lycopersicon esculentum*) (Leu & Kao 1981; Kao *et al*. 1982; Chang 1983; Ann *et al*. 2008b, 2010a)、胡瓜 (*Cucumis sativus*) (Chang 1983; Ann *et al*. 2010c, 2016c)、玩具南瓜 (*Cucurbita pepo* var. *ovifera*) (Ann & Ko 1990b; Ann *et al*. 2010c, 2016c)、冬瓜 (*Benincasa hispida*) (Ann *et al*. 2010c, 2016c)、觀賞辣椒 (*Capsicum annuum* var. *cerasiforme*) (Ann *et al*. 2010a)、甜瓜 (香瓜與洋香瓜) (*Cucumis melo*) (Ann *et al*. 2010c, 2016c)、南瓜 (*Cucurbita moschata*) (Ann *et al*. 2010a, 2010c, 2016c) 及扁蒲 (葫蘆瓜) (*Lagenaria*

siceraria) (Ann *et al*. 2010a, 2010c, 2016c)。

2. 花卉：美國石竹 (*Dianthus barbatus*) (Leu & Kao 1981)、吊鐘花 (*Enkianthus quinquefollius*) (Leu & Kao 1981)、康乃馨 (*Dianthus caryophyllus*) (Ann *et al*. 1990)、大理花 (*Dahlia hybrida*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1996)、滿天星 (*Gypsophila paniculata*) (Ann & Ko 1990b; Ann & Liu 1993) 及飄香藤 (*Mondevilla* × *amabills*) (Ann *et al*. 2010a, 2010d, 2018a)。至於波斯菊 (*Cosmos bipinnatus*) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但在《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。
3. 保健植物：杜仲 (*Eucommia ulmoides*) (Hsieh 1982)。
4. 特用作物：荖藤 (*Piper betle*) (Leu & Kao 1981)、荖花 (*Piper betle*) (Ann *et al*. 2002) 及荖葉 (*Piper betle*) (Ann *et al*. 2002, 2010a)。

Phytophthora infestans

寄主：3 屬 4 種。包括：番茄 (*Lycopersicon esculentum*) (Kawakami & Suzuki 1908; Sawada 1919a; Hartman & Huang 1995; Ann *et al*. 1998a, 1998b, 2010b; Jyan *et al*. 2002, 2004; Tsai *et al*. 2019)、耳鉤草 (*Solanum biflorum*) (Sawada 1919a) 及馬鈴薯 (*Solanum tuberosum*) (Kawakami & Suzuki 1908; Sawada 1919a; Ann *et al*. 1998a, 1998b; Jyan *et al*. 2002, 2004; Tsai *et al*. 2019)。至於龍珠 (*Tubocapsicum anomalum*) (Ho 1990)，何氏 1990 年報告為 Sawada 的未發表資料，在 1992 年才說他是在 Sawada 留下的龍珠標本上看到的，說龍珠為晚疫病菌的新寄主，但無任何描述與說明，因在《台灣植物病害名彙》上有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)，特此說明。

Phytophthora citrophthora

寄主：12 屬 19 種。包括：

1. 果樹：柑桔 (*Citrus* spp.) (Sawada 1915, 1919a; Ann 1980; Chang 1983) (包括酸桔、廣東檸檬、柳橙、椪柑、桶柑、海梨、文旦及茂谷等) (Ann 1984)、草莓 (*Fragaria chiloensis* var. *ananassa*) (Kao & Leu 1979; Chang 1983, 1988)、番荔枝 (釋迦) (*Annona squamosal*) (Huang *et al*. 1991) 及鶯歌桃 (*Prunus persica*) (Ann *et al*. 2003)。
2. 花卉與觀賞植物：馬拉巴栗 (*Pachira macrocarpa*) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000b)、火鶴花 (*Anthurium* sp.) (Ann 2000a)、仙克來 (*Cyclamen persicum*) (Ann 2000a)、黃金葛 (*Epipremnum aureum*) (Ann 2000b)、日日春 (*Vinca rosea*) (Ann 2000a)、月橘 (七里香) (*Murraya paniculata*) (Ann *et al*. 2010d) 及蝴蝶蘭 (*Phalaenopsis* spp.) (Ann *et al*. 2010d)。
3. 保健與香草植物：香葉天竺葵 (防蚊草) (*Pelargonium graveolens*) (Ann *et al*. 2010d, 2010e)。

Phytophthora cinnamomi

寄主：12 屬 13 種。包括：

1. 果樹：鳳梨 (*Ananas comosus*) (Anonymous 1965; Ko *et al*. 1978a; Chang 1983) 與酪梨 (*Persea americana*) (Chang & Hsieh 1977; Ko *et al*. 1978a; Chang 1983; Ann & Ko 1990a; Ann *et al*. 2006)。
2. 花卉與觀賞植物：馬拉巴栗 (*Pachira macrocarpa*) (Chang & Hsieh 1977)、茶花 (*Camellia* sp.) (Ko *et al*. 1978a)、杜鵑 (*Rhododendron* sp.) (Ko *et al*. 1978a)、百合 (*Lilium* spp.) (Hsieh *et al*. 2001)、美葉蘇鐵 (*Zamia furfuracea*) (Ann *et al*. 2004) 及金絲桃 (*Hypericum* sp.) (Ann *et al*. 2005; Tsai *et al*. 2016)。
3. 保健植物：肉桂 (*Cinnamomum osmophloeum*) (Chang 1993)。
4. 樹木：小葉雞納樹 (*Cinchona ledgeriana*) (Sawada 1936)、大葉雞納樹 (*Cinchona pubescens*) (Sawada 1936)、樟樹 (*Cinnamomum camphora*) (Chang 1993) 及肖楠 (*Calocedrus formosana*) (Chang *et al*. 2000)。

Phytophthora melonis

寄主：5 屬 6 種。主要為瓜類，包括冬瓜 (毛瓜) (*Benincasa hispida*) (Kao & Leu 1977; Ann *et al*. 2010c, 2016c; Huang *et al*. 2019)、胡瓜 (*Cucumis sativus*) (Kao & Leu 1977, 1982;

Chang 1983; Anonymous 1984; Ann *et al*. 2010c, 2016c; Huang *et al*. 2019)、甜瓜 (洋香瓜與越瓜) (*Cucumis melo*) (Kao *et al*. 1982; Chang 1983; Ann *et al*. 2010c, 2016c; Huang *et al*. 2019)、西瓜 (*Citrullus vulgaris*) (Kao *et al*. 1982; Ann *et al*. 2010c, 2016c; Huang *et al*. 2019)、苦瓜 (*Momordica charantia*) (Ann *et al*. 2010c) 及扁蒲 (*Lagenaria siceraria*) (Ann *et al*. 2016c; Huang *et al*. 2019)。至於絲瓜 (*Luffa cylindrical*) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但在《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。

Phytophthora cryptogea

寄主：11 屬 11 種。包括：

1. 果樹：晚侖西亞 (香丁) (*Citrus sinensis*) (Huang *et al*. 2019)
2. 蔬菜：紅鳳菜 (*Gynura bicolor*) (Ann 1996; Huang *et al*. 2019)。至於萵苣 (*Lactuca sativa*) (Ho 1990)，何氏的報告無描述與說明，但在《台灣植物病害名彙》有此項寄主紀錄 (Tzean 2019)。
3. 花卉：非洲菊 (*Gerbera jamesonii*) (Kao 1978; Chang 1983; Ann 1996; Huang *et al*. 2019)、康乃馨 (*Dianthus caryophyllus*) (Ann *et al*. 1990; Huang *et al*. 2019)、聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*) (Ann & Ko 1990b; Huang *et al*. 2019)、麒麟菊 (*Liatris spicata*) (Ann & Ko 1990b; Ann 1996)、香雪球 (*Lobularia maritime*) (Ann & Ko 1990b; Ann 2000a)、菊花 (*Chrysanthemum morifolium*) (Ann 1996) 及瓜葉菊 (*Senecio cruentus*) (Ann 1996)。
4. 保健與香草植物：丹參 (*Salvia miltiorrhiza*) (Ann *et al*. 2008c, 2012c; Huang *et al*. 2019)。
5. 樹木：肖楠 (*Calocedrus formosana*) (Chang *et al*. 2000)。

Phytophthora drechsleri

寄主： 8 屬 8 種。包括：

1. 蔬菜：紅鳳菜 (*Gynura bicolor*) (Shen *et al*. 2011) 與萵苣 (*Lactuca sativa*) (Huang *et al*. 2019)。
2. 花卉：百合 (*Lilium* sp.) (Ann *et al*. 2010d; Huang *et al*. 2019)、矮牽牛 (*Petunia hybrida*) (Ann *et al*. 2010d; Huang *et al*. 2019)、聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*) (Huang *et al*. 2019) 及金毛菊 (*Thymophylla tenuiloba*) (Huang *et al*. 2019)。
3. 保健與香草植物：黃耆 (*Astragalus membranaceus*) (Ann *et al*. 2012c; Huang *et al*. 2019)。
4. 一般灌木或喬木：銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) (Hsieh 1986)。

Phytophthora cactorum

寄主：6 屬 6 種。包括：苧麻 (*Boehmeriae nivea*) (Sawada 1927)、槭 (*Acer* sp.) (Ito 1936)、毛百合 (*Lilium dauricum*) (Ito 1936)、蘋果 (*Malus pumila*) (Ito 1936)、人參 (*Panax schinseng*) (Ito 1936) 及草莓 (*Fragaria chiloensis* var. *ananassa*) (Kao & Leu 1979; Chang 1983, 1988)。

Phytophthora parvispora (= varaint of *P. cinnamomi*)

寄主：3 屬 8 種。包括：柑桔 (*Citrus* spp.) (Ann 1984; Ann & Ko 1985) (包括酸桔、廣東檸檬、椪柑、桶柑、海梨及文旦) (Ann *et al*. 2016b)、秋海棠 (*Begonia* × *semperflorens cultorum*) (Ann *et al*. 2016b) 及草莓 (*Fragaria chiloensis* var. *ananassa*) (Tsai *et al*. 2020b)。

Phytophthora colocasiae

寄主：1 屬 2 種。包括：芋 (*Colocasia esculenta*) (Sawada 1911, 1919a; Chang 1983; Ann *et al*. 1986) 與野芋 (*Colocasia antiquorum*) (Sawada 1911, 1919a)。

Phytophthora meadii

寄主：3 屬 3 種。包括：亮葉粗肋草 (*Aglaonema nitidium*) (Ann 1992a)、白色海芋 (*Zantedeschia aethiopica*) (Liou *et al*. 1999) 及鶯歌桃 (*Prunus persica*) (Ann *et al*. 2003)。

Phytophthora tropicalis

寄主：4 屬 4 種。包括：西洋杜鵑 (*Rhododendron hybridum*) (Ann 2000a; Ann *et al*.

2010e)、迷迭香 (*Rosmarinus officinalis*) (Ann *et al*. 2008c, 2010e)、康乃馨 (*Dianthus caryophyllus*) (Ann *et al*. 2010e) 及長春藤 (*Hedera helix*) (Ann *et al*. 2010d)。

Phytophthora litchii

寄主：2 屬 2 種。包括：荔枝 (*Litchi chinensis*) (Chen 1961; Tsai *et al*. 2020a) 與龍眼 (*Euphoria longana*) (Ann *et al*. 2012a)。

Phytophthora citricola

寄主：2 屬 2 種。包括：柑桔 (*Citrus* spp.) (Sawada 1927; Ann 1980; Chang 1983; Ann 1984) 與草莓 (*Fragaria chiloensis* var. *ananassa*) (Chang 1983, 1988)。

Phytophthora nagaii

寄主：玫瑰 (*Rosa rugosa*) (原生種) (Yuan *et al*. 2020)、(*Rosa* hybrid) (雜交種) (Yuan *et al*. 2020)。

Phytophthora bishii

寄主：玫瑰 (*Rosa rugosa*) (原生種) (Yuan *et al*. 2020)、(*Rosa* hybrid) (雜交種) (Yuan *et al*. 2020)。

Phytophthora multivesiculata

寄主：虎頭蘭 (*Cymbidium* sp.) (Chern *et al*. 2011)。

Phytophthora cambivora

寄主：山櫻花 (*Prunus campanulata*) (Huang *et al*. 2012)。

Phytophthora vignae

寄主：豇豆 (*Vigna sinensis*) (Kao & Leu 1977, 1982)。

Phytophthora amaranthi

寄主：莧菜 (*Amaranthus mangostanus*) (Ann *et al*. 2008a, 2015, 2016a)。

Phytophthora lateralis

寄主：檜木 (*Chamaecyparis formosensis*) (Brasier *et al*. 2010; Webber *et al*. 2012)。

Phytophthora niederhauserii

寄主：無花果 (*Ficus carica*) (Lin *et al*. 2019)。

Phytophthora boehmeriae

寄主：苧麻 (*Boehmeriae nivea*) (Sawada 1927)。

Phytophthora cyperi

寄主：1 屬 4 種。藺草 (*Cyperus tegetiformis*) (Kawakami & Suzuki 1908)、香附子 (*Cyperus rotundus*) (Sawada 1927)、莎草 (*Cyperus iria*) (Sawada 1931) 及麻六甲莎 (*Cyperus malaccensis*) (Ito & Tokunaga 1935)。

Phytophthora leersiae

寄主：假稻屬 (*Leersia* sp.) (Sawada 1941) 與李氏禾 (*L. hexandra*) (Sawada 1941)。

Phytophthora lepironiae lepironae

寄主：莎草科石龍芻屬 (*Lepironia* sp.) (Sawada 1919b)。

Phytophthora macrospora

寄主：水稻 (*Oryza sativa*) (Sawada 1927)。

Phytophthora castaneae (= *P. katsurae*)

森林土 (Ko & Chang 1979; Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora heveae

柑桔 (*Citrus* spp.) (Ann 1984)、鳳梨 (*Ananas comosus*)、檳榔 (*Areca catechu*)、桃 (*Prunus persica*) 及龍眼 (*Euphoria longana*) 之根圈土壤。

Phytophthora insolita

柑桔 (*Citrus* spp.) (Ann & Ko 1980; Ann 1984)、楊桃 (*Averrhoa carambola*) 及聖誕紅之根圈土壤與水溝水 (Ann & Ko 1994)。

Phytophthora humicola

柑桔 (*Citrus* spp.) (Ko & Ann 1985)、花豆 (*Phaseolus vulgaris*)、康乃馨 (*Dianthus

caryophyllus) 及菊花 (*Chrysanthemum morifolium*) 等根圈土壤。

Phytophthora capensis

森林內的河水 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora chlamydospora

森林內的日本扁柏 (*Chamaecyparis obtusa*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora plurivora

森林內的台灣赤楊 (*Alnus formosensis*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora attenuata

森林內的米儲樹 (*Castanopsis carlesii*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora flexuosa

森林內的早田山毛櫸 (*Fagus hayatae*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora formosa

森林內的南洋杉 (*Araucaria cunninghamii*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

Phytophthora intricata

森林內的太魯閣櫟 (*Quercus tarokoensis*) 根圈土 (Jung *et al*. 2017a, 2017c)。

結語

疫病為世界上最重要之植物病害之一。由於台灣高溫多濕，適合多種疫病菌之生存與繁殖蔓延，因而病害發生亦十分猖獗。疫病菌之發生生態與其他非卵菌略有差異，而且不同種的疫病菌，其發生的環境條件與寄主範圍亦大不相同，故明確的鑑定疫病菌是病害防治的首要工作。由本文內容可發現，疫病菌不僅常出現在農業生態系中，亦分布於山區人工林或原始林中的土壤與河流，可見疫病菌在陸地上的分布相當廣。近數十年來，有 20 種疫病菌被報導造成嚴重的作物與林木病害，詳可參考網站 Forest Phytophthoras of the World (https://forestphytophthoras.org/)，不過台灣未曾有大規模林木受疫病菌危害的紀錄。但在農作物方面，近 20 年來 *P. infestans*、*P. nicotianae*、*P. palmivora*、*P. capsici*、*P. melonis* 及 *P. cinnamomi* 造成的果樹、蔬菜及花卉病害甚為嚴重。在疫病防治方面，應瞭解植物疫病菌種類、病害生態及流行病學，才能有效研擬防治策略，預防重於治療。此外，須具備疫病菌鑑定技術，用以決定應採取那些防禦手段與措施，以達成有效管理病害之目的；同時要明瞭國際病害情勢，阻遏國外有害微生物入侵，以保護國內作物之健康生長，避免造成重大疫情與嚴重之經濟損失。

引用文獻

Abad, Z. G., T. I. Burgess, A. J. Redford, J. C. Bienapfl, S. Srivastava, R. Mathew, and K. Jennings. 2023. *IDphy*: An International online resource for molecular and morphological identification of *Phytophthora*. Plant Dis. 107:987–998. doi:10.1094/PDIS-02-22-0448-FE

Alexopoulos, C. J. and C. M. Mims. 1979. Introductory Mycology. 3rd ed. Wiley. New York, NY. 632 pp.

Alexopoulos, C. J., C. W. Mims, and M. Blackwell. 1996. Introductory Mycology. 4th ed. Wiley. New York, NY. 868 pp.

Ann, P. J. 1980. Distribution of *Phytophthora* species in citrus orchards in Taiwan. Plant Prot. Bull. 22:435. (abstract in Chinese)

Ann, P. J. 1984. Species, mating types and pathogenicity of *Phytophthora* distributed in citrus orchards in Taiwan. Trans. Br. Mycol. Soc. 82:631–634. doi:10.1016/S0007-1536(84)80103-5

Ann, P. J. 1992a. *Phytophthora* diseases of ornamental plants in Araceae in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 1:79–89. doi:10.6649/PPB.199206_1(2).0005

Ann, P. J. 1992b. New diseases and records of some important flower plants caused by *Phytophthora parasitica* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 1:166–173.

Ann, P. J. 1993. *Phytophthora* disease of English ivy in Taiwan. Plant Prot. Bull. 35:149–155. (in Chinese with English abstract)

Ann, P. J. 1995. *Phytophthora* diseases of orchids in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 4:152–162. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.199512_4(4).0002

Ann, P. J. 1996. *Phytophthora* diseases of compositae in

Taiwan. Plant Pathol. Bull. 5:146–153. doi:10.6649/PPB.199609_5(3).0004

Ann, P. J. 2000a. New diseases and records of flowering potted plants caused by *Phytophthora* species in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 9:1–10. doi:10.6649/PPB.200003_9(1).0001

Ann, P. J. 2000b. *Phytophthora* diseases of some ornamental foliage plants as new records in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 9:47–52. doi:10.6649/PPB.200006_9(2).0002

Ann, P. J., T. J. Chang, and J. N. Tasi. 1998a. Comparison of characteristics of strains of *Phytophthora infestans* isolated before and after 1998 in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 7:209. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., T. T. Chang, and L. L. Chern. 1998b. Mating type distribution and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sin. 39:33–37.

Ann, P. J., Y. S. Chiu, I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2010a. Replacement of A^1 by the A^2 mating type (or homothallic strain with A^2 tendency) of *Phytophthora capsici* in Taiwan and comparison of the difference between both mating types. Plant Pathol. Bull. 19:78–79. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., J. H. Huang, J. N. Tsai, and W. H. Ko. 2016a. Morphological, molecular and pathological characterization of *Phytophthora amaranthi* sp. nov. from amaranth in Taiwan. J. Phytopathol. 164:94–101. doi:10.1111/jph.12433

Ann, P. J., C. W. Kao, and W. H. Ko. 1986. Mating-type distribution of *Phytophthora colocasiae* in Taiwan. Mycopathologia 93:193–194. doi:10.1007/BF00443524

Ann, P. J., T. C. Huang, and I. T. Wang. 2002. Identification of *Phytophthora* species on *Piper betle* and *P. longum* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 11:179–188. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200212_11(4).0003

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1980. *Phytophthora insolita*, a new species from Taiwan. Mycologia 72:1180–1185. doi:10.1080/00275514.1980.12021299

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1985. Variants of *Phytophthora cinnamomi* extend the known limits of the species. Mycologia 77:946–950. doi:10.1080/00275514.1985.12025184

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1988. Hormonal heterothallism in *Phytophthora parasitica*: A novel mode of sexual reproduction? J. Gen. Microbiol. 134:2985–2992. doi:10.1099/00221287-134-11-2985

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1990a. Survey of enzyme activity on solid media in *Phytophthora*. Can. J. Bot. 68:139–143. doi:10.1139/b90-018

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1990b. New *Phytophthora* diseases of flower and ornamental plants in Taiwan. Plant Prot. Bull. 32:341. (abstract in Chinese)

Ann, P. J. and W. H. Ko. 1994. An asexual variant of *Phytophthora insolita*. Can. J. Microbiol. 40:810–815. doi:10.1139/m94-129

Ann, P. J., R. Kunimoto, and W. H. Ko. 1990. *Phytophthora* wilt of carnation in Taiwan and Hawaii. Plant Prot. Bull. 32:145–152.

Ann, P. J., C. P. Lin, and J. N. Tsai. 2017. *Phytophthora* disease of betel palm in Taiwan. J. Plant Med. 59(4):1–4. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201712_59(4).0001

Ann, P. J., C. P. Lin, J. N. Tsai, and. H. L. Tsai. 2018a. Newly recorded diseases of ornamental plants caused by *Phytophthora nicotianae* in Taiwan. J. Plant Med. 60(1):23–32. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201803_60(1).0003

Ann, P. J., C. P. Lin, J. N. Tsai, and H. L. Tsai. 2018b. Newly recorded diseases of ornamental plants caused by *Phytophthora palmivora* in Taiwan. J. Plant Med. 60(3&4):21–28. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201812_60(3_4).0003

Ann, P. J. and S. S. Liu. 1993. *Phytophthora* wilt of baby's breath. Plant Pathol. Bull. 2:106–110. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.199306_2(2).0008

Ann, P. J., C. T. Lo, and T. F. Hsieh. 1992. *Phytophthora* blight of *Lilium* spp. in Taiwan. Plant Prot. Bull. 34:64–69. (in Chinese with English abstract)

Ann, P. J. and J. N. Tsai. 2000. *Phytophthora* blight of peace lily in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 9:145–150. doi:10.6649/PPB.200012_9(4).0003

Ann, P. J., J. N. Tsai, C. P. Lin, and H. L. Tsai. 2016b. *Phytophthora parvispora*, the correct name for a *Phytophthora* sp. causing diseases of *Citrus* spp. and begonia in Taiwan. J. Plant Med. 58:115–117 (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201609_58(3_4).0001

Ann, P. J., J. N. Tsai., and I. T. Wang. 2004. *Phytophthora cinnamomi* on *Zamia furfuracea* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 13:233–236. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200409_13(3).0008

Ann, P. J., J. N. Tsai, and I. T. Wang. 2013. *Phytophthora* diseases of *Cedrela sinensis* and *Zanthoxylum ailanthoides*. J. Taiwan Agric. Res. 62:57–70. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR.2013.06201.06

Ann, P. J., J. N. Tsai, and I. T. Wang. 2014. Mating type distribution of *Phytophthora palmivora* from Papaya in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 63:267–273. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/

JTAR/2014.06304.02

Ann, P. J., J. N. Tsai, I. T. Wang, J. H. Huang, J. P. Lin, H. L.Tsai, S. T. Wang, and C. K. Yang. 2015. Ecology and control of Phytophthora disease of Amaranth. Plant Pathol. Bull. 24:241–249. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.201512_24(3_4).0006

Ann, P. J., J. N. Tsai., I. T. Wang, S. D. Shi, J. W. Hwang, and R. F. Liou. 2003. *Phytophthora* fruit rot of peach in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 12:181–190. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200309_12(3).0006

Ann, P. J., J. N. Tsai, I. T. Wang, H. L. Tsai, H. S. Chen, J. P. Lin, and J. H. Huang. 2016c. Survey of *Phytophthora* diseases of cucurbit, pathogen identification and pathogenicity study in Taiwan. J. Plant Med. 58:49–58. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201606_58(2).0001

Ann, P. J., J. N. Tsai, T. C. Wang, C. H. Chen, M. J. Lin, and W. H. Ko. 2010b. Reevaluation of the report of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* on tomato in Taiwan. Bot. Stud. 51:203–207.

Ann, P. J., J. N. Tsai, and H. R. Yang. 2012a. First report of leaf and stem downy blight of longan seedlings caused by *Peronophythora litchii* in Taiwan. Plant Dis. 96:1224. doi:10.1094/PDIS-01-12-0009-PDN

Ann, P. J., I. T. Wang, F. H. Chang, J. N. Tsai, and H. D. Shih. 2006. *Phytophthora* diseases of avocado in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 55:13–24. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR/2006.05501.02

Ann, P. J., I. T. Wong, and H. S. Chen. 2010c. Survey of cucurbit *Phytophthora* diseases, pathogen identification and pathogenicity test. Plant Pathol. Bull. 19:294. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., I. T. Wong, Y. H. Chiu, and J. N. Tsai. 2010d. New records of *Phytophthora* diseases on flower and ornamental crops in Taiwan from 2006 to 2010. Plant Pathol. Bull. 19:77–78. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., I. T. Wong, Z. H. Hsu, J. N. Tsai, and C. P. Lin. 2012b. Current status of *Phytophthora* species causing fruit rot and basal stem rot of strawberry in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 21:149–150. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., I. T. Wong, J. S. Huang, J. N. Tsai, and S. T. Wong. 2008a. Amaranthus *Phytophthora* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 17:69–70. (abstract in Chinese) doi:10.6649/PPB.200803_17(1).0008

Ann, P. J., I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2005. New records of *Phytophthora* diseases in Taiwan from 2001 to 2005. Plant Pathol. Bull. 14:281. (abstract in Chinese)

Ann, P. J., I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2008b. Appearance of A^2 mating type of *Phytophthora capsici* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 17:69. (abstract in Chinese) doi:10.6649/PPB.200803_17(1).0008

Ann, P. J., I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2008c. *Phytophthora* diseases of medicinal herbs in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 17:78–79. (abstract in Chinese) doi:10.6649/PPB.200803_17(1).0008

Ann, P. J., I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2010e. New records of *Phytophthora* diseases of aromatic crops in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 19:53–68.

Ann, P. J., I. T. Wong, and J. N. Tsai. 2012c. New records of *Phytophthora* diseases of Chinese medicinal herbs in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 21:65–77.

Anonymous. 1965. Pineapple root rot. Agric. Rev. 4:241.

Anonymous. 1984. Vegetable diseases. p.121−122. *in*: Annual Report of Taiwan Agricultural Research Institute 1983. Taiwan Agric. Res. Inst. Taichung, Taiwan. 187 pp. (in Chinese)

Bartnicki-Garcia, S. 1968. Cell wall chemistry, morphogenesis, and taxonomy of fungi. Annu. Rev. Microbiol. 22:87–108. doi:10.1146/annurev.mi.22.100168.000511

Beakes, G. W. and M. Thines. 2017. Hyphochytriomycota and oomycota. p.435–505. *in*: Handbook of the Protists. (Archibald, J. M., A. G. B. Simpson, and C. H. Slamovits, eds.) Springer. Cham, Switzerland. 1657 pp. doi:10.1007/978-3-319-28149-0_26

Blair, J. E., M. D. Coffey, S. Y. Park, D. M. Geiser, and S. Kang. 2008. A multi-locus phylogeny for *Phytophthora* utilizing markers derived from complete genome sequences. Fungal. Genet. Biol. 45:266–277. doi:10.1016/j.fgb.2007.10.010

Bourret, T. B., R. A. Choudhury, H. K. Mehl, C. L. Blomquist, N. McRoberts, and D. M. Rizzo. 2018. Multiple origins of downy mildews and mito-nuclear discordance within the paraphyletic genus *Phytophthora*. PLoS ONE 13:e0192502. doi:10.1371/journal.pone.0192502

Brasier, C., B. Scanu, D. Cooke, and T. Jung. 2022. *Phytophthora*: An ancient, historic, biologically and structurally cohesive and evolutionarily successful generic concept in need of preservation. IMA Fungus 13:12. doi:10.1186/s43008-022-00097-z

Brasier, C. M., A. M. Vettraino, T. T. Chang, and A. Vannini. 2010. *Phytophthora lateralis* discovered in an old growth *Chamaecyparis* forest in Taiwan. Plant Pathol. 59:595–603. doi:10.1111/j.1365-3059.2010.02278.x

Cavalier-Smith, T. 1981. Eukaryote kingdoms: Seven or nine? Biosystems 14:461–481. doi:10.1016/0303-2647(81)90050-2

Chang, H. S. 1983. Crop diseases incited by *Phytophthora* fungi in Taiwan. Plant Prot. Bull. 25:231–237. (in Chinese with English abstract)

Chang, H. S. 1988. *Phytophthora* species associated with strawberry fruit rot in Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sin. 29:61–67.

Chang, H. S. and H. J. Hsieh. 1977. Studies on *Phytophthora* species in Taiwan. p.171–184. *in*: Symposium on Soil-borne Crop Diseases. National Science Council. Taipei, Taiwan. (in Chinese)

Chang, H. S. and I. M. Shu. 1981. Betel decline in Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sin. 22:1–7.

Chang, T. T. 1993. Decline of two *Cinnamomum* species associated with *Phytophthora cinnamomi* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 2:1–6.

Chang, T. T., M. L. Wu, and C. H. Fu. 2000. Decline of *Calocedrus formosana* associated with two species of *Phytophthora* in Taiwan. Taiwan J. For. Sci. 15:457–464.

Chen, C. C. 1961. A species of *Peronophythora* gen. nov. parasitic on litchi fruit in Taiwan. Special Publ. Coll. Agric., Natl. Taiwan Univ. 10:1–37.

Chen, C. W., C. Y. Lin, and Z. C. Hsu. 1997. Occurrence of periwinkle diseases in Taiwan. Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Sta. 54:47–57. (in Chinese with English abstract)

Chen, D. W. 1966. The occurrence, epidemic factors, *Phytophthora* strains and fungicide tests of pineapple heart rot in Taiwan. Plant Prot. Bull. 8:203–250. (in Chinese with English abstract)

Chen, J. S. 1978. Studies on *Phytophthora* black rot of *Phalaenopsis* in Taiwan. Master Thesis. Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 71 pp. (in Chinese with English abstract)

Chen, J. S. and S. P. Y. Hsieh. 1978. *Phytophthora* black rot of *Phalaenopsis* in Taiwan. Plant Prot. Bull. 20:161–170.

Chen, Q., M. Bakhshi, Y. Balci, K. D. Broders, R. Cheewangkoon, S. F. Chen, X. L. Fan, D. Gramaje, F. Halleen, M. Horta Jung, N. Jiang, T. Jung, T. Májek, S. Marincowitz, I. Milenković, L. Mostert, C Nakashima,. I. Nurul Faziha, M. Pan, M. Raza, B. Scanu, C. F. J. Spies, L. Suhaizan, H. Suzuki, C. M. Tian, M. Tomšovský, J. R. Úrbez-Torres, W. Wang, B. D. Wingfield, M. J. Wingfield, Q. Yang, X. Yang, R. Zare, P. Zhao, J. Z. Groenewald, L. Cai, and P. W. Crous. 2022. Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 4. Stud. Mycol. 101:417–564. doi:10.3114/sim.2022.101.06

Chern, L. L., P. J. Ann, J. F. Su, C. W. Yang, H. C. Tsay, J. N. Tsai, and T. F. Hsieh. 2014. Screening of chemicals for control of seedling blight of Malabar chestnut in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 63:274–281. (in Chinese with English abstract)

Chern, L. L., P. J. Ann, and I. T. Wang. 2011. Cymbidium black rot caused by an aberrant strain of *Phytophthora multivesiculata* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 20:1–10.

Chern, L. L., P. J. Ann, and H. R. Young. 1998. Root and Foot rot of loquat in Taiwan caused by *Phytophthora*. Plant Dis. 82:651–656. doi:10.1094/PDIS.1998.82.6.651

Chi, P. K., X. P. Pang, and R. Liu. 1982. Studies on Phytophthora disease of litchi. 1. Identification of causal agent. p.72–73. *in*: Proc. Annual Meeting Chinese Phytopathol. Soc. 1981.

Cooke, D. E. L., A. Drenth, J. M. Duncan, G. Wagels, and C. M. Brasier. 2000. A molecular phylogeny of *Phytophthora* and related oomycetes. Fungal Genet. Biol. 30:17–32. doi:10.1006/fgbi.2000.1202

Coomber, A., A. Saville, I. Carbone, and J. B. Ristaino. 2023. An open-access T-BAS phylogeny for emerging *Phytophthora* species. PLoS ONE 18:e0283540. doi:10.1371/journal.pone.0283540

Dick, M. W. 2001. Straminipilous Fungi. Kluwer Academic. Dordrecht, The Neverlands. 670 pp. doi:10.1007/978-94-015-9733-3

Feng, C. T., W. C. Ho, and Y. C. Chao. 2006. Basal petiole rot and plant kill of *Zamioculcas zamiifolia* caused by *Phytophthora nicotianae*. Plant Dis. 90:1107. doi:10.1094/PD-90-1107B

Fitzpatrick, H. M. 1930. The Lower Fungi: Phycomycetes. McGraw-Hill. New York, NY. 331 pp.

Flier, W. G., N. J. Grünwald, L. P. N. M. Kroon, A. K. Sturbaum, T. B. M. van den Bosch, E. Garay-Serrano, H. Lozoya-Saldaña, W. E. Fry, and L. J. Turkensteen. 2003. The population structure of *Phytophthora infestans* from the Toluca Valley of central Mexico suggests genetic differentiation between populations from cultivated potato and wild *Solanum* spp. Phytopathology 93:382−390. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.4.382

Förster, H., M. O. Coffey, H. Elwood, and M. L. Sogin. 1990. Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNAs of three zoosporic fungi and implications for fungal evolution. Mycologia 82:306–312. doi:10.1080/00275514.1990.12025885

Göker, M., H. Voglmayr, A. Riethmüller, and F. Oberwinkler. 2007. How do obligate parasites evolve? A multi-gene phylogenetic analysis of downy mildews. Fungal Genet. Biol. 44:105–122. doi:10.1016/j.fgb.2006.07.005

Goss, E. M., M. Larsen, A. Vercauteren, S. Werres, K.

Huengens, and N. J. Grünwald. 2011. *Phytophthora ramorum* in Canada: Evidence for migration within North America and from Europe. Phytopathology 101:166−171. doi:10.1094/PHYTO-05-10-0133

Gunderson, J. H., H. Elwood, A. Ingold, K. Kindle, and M. L. Sogin. 1987. Phylogenetic relationships between Chlorophytes, Chrysophytes, and Oomycetes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 84:5823–5827. doi:10.1073/pnas.84.16.5823

Hartman, G. L. and Y. H. Huang. 1995. Characteristics of *Phytophthora infestans* isolates and development of late blight on tomato in Taiwan. Plant Dis. 79:849–852.

Ho, H. H. 1990. Taiwan *Phytophthora*. Bot. Bull. Acad. Sin. 31:89–106.

Ho, H. H. 1992. Keys to the species of *Phytophthora* in Taiwan. Plant. Patholol. Bull. 1:104–109. doi:10.6649/PPB.199206_1(2).0008

Ho, H. H., P. J. Ann, and H. S. Chang. 1995. The Genus *Phytophthora* in Taiwan. Ins. Bot., Acad. Sin. Mo. Ser. 15. Taipei, Taiwan. 86 pp.

Ho, H. H., M. E. Gallegly, and C. X. Hong. 2007. Redescription of *Phytophthora melonis*. Mycotaxon 102:339–345.

Ho, H. H. and S. C. Jong. 1989. *Phytophthora nicotianae* (*P. parasitica*). Mycotaxon 35:243–276.

Ho, H. H., J. Y. Lu, and L. Y. Gong. 1984. Observations on asexual reproduction by *Peronophythora litchii*. Mycologia 76:745–747. doi:10.1080/00275514.1984.12023906

Ho, H. H., F. C. Zheng, and H. C. Zeng. 2004. *Phytophthora cyperi* on *Digitaria ciliaris* in Hainan Province of China. Mycotaxon 90:431–435.

Hsieh, H. J. 1982. Survey of diseases of woody plant in Taiwan (5)- Some diseases of introduced plants. Bull. Taiwan For. Res. Inst. 377:1–11. (in Chinese with English abstract)

Hsieh, H. J. 1983. Study on *Paulownia* diseases found in Taiwan. Bull. Taiwan For. Res. Inst. 388:1–24. (in Chinese with English abstract)

Hsieh, H. J. 1986. Survey of diseases of woody plant in Taiwan (12). Q. J. Chin. For. 19:87–98. (in Chinese with English abstract)

Hsieh, H. J. 1987. Survey of diseases of woody plant in Taiwan (13). Q. J. Chin. For. 20:65–75. (in Chinese with English abstract)

Hsieh, T. F., P. J., Ann, and E. T. Wang. 2001. Bud blight of imported lily bulbs caused by *Phytophthora cinnamomi*. Plant Pathol. Bull. 10:115–122. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200109_10(3).0003

Huang, H., C. P. Wang, and D. Y. Xu. 1983. On *Peronophythora litchii*. Acta Mycol. Sin. 2:201–206.

Huang, J. H., P. J. Ann, Y. H. Chiu, and J. N. Tsai. 2012. First report of *Phytophthora cambivora* causing leaf and stem blight and root rot on Taiwan cherry (*Prunus campanulata*) in Taiwan. Plant Dis. 96:1065. doi:10.1094/PDIS-01-12-0025-PDN

Huang, J. H., P. J. Ann, J. N. Tsai, H. L. Tsai, and J. P. Lin. 2019. Comparison of morphologic and physiologic characteristics and phylogenetic analysis of ITS sequences of *Phytophthora melonis*, *P. drechsleri* and *P. cryptogea* in Taiwan. J. Plant Med. 61:49–57. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201903_61(1).0005

Huang, J. H. and H. C. Lin. 2017. A study on the cause of significant reduction in production of passion fruit in Puli in the autumn of 2016. Plant Med. 59(1&2):57. (abstract in Chinese)

Huang, T. C., L. H. Leu, and H. L. Lee. 1991. Phytophthora fruit rot of *Annona squamosa* L. caused by *Phytophthora citrophthora* and *P. nicotianae*. Plant Prot. Bull. 33:103–112. (in Chinese with English abstract)

Huang, T. H. 1975. Studies on systemic of some *Phytophthora* isolates in Taiwan and on behavior and survival of *P. palmivora* Butler. Master Thesis. Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 51 pp. (in Chinese with English abstract)

Huang, T. H. and D. W. Chen. 1974. Survival and behaviour of *Phytophthora* species. Plant Prot. Bull. 16:171. (abstract in Chinese)

Huang, T. H., D. W. Chen, and L. S. Leu. 1976. Phytophthora fruit and root rot of papaya in Taiwan. Plant Prot. Bull. 18:293–308. (in Chinese with English abstract)

Ito, S. 1936. Mycological Flora of Japan Vol. 1: Phycomycetes. Yokendo. Tokyo, Japan. 340 pp.

Ito, S. and Y. Tokunaga. 1935. Notae mycologicae Asiae orientalis I. Trans. Sapporo. Nat. Hist. Soc. 14:1–33.

Jung, T. and T. I. Burgess. 2009. Re-evaluation of *Phytophthora citricola* isolates from multiple woody hosts in Europe and North America reveals a new species, *Phytophthora plurivora* sp. nov. Persoonia 22:95–110. doi:10.3767/003158509X442612

Jung, T., T. T. Chang, J. Bakonyi, D. Seress, A. Pérez-Sierra, X. Yang., C. Hong., B. Scanu., C. H. Fu, K. L. Hsueh, C. Maia, P. Abad-Campos, M. Léon, and M. H. Jung. 2017a. Diversity of *Phytophthora* species in natural ecosystems of Taiwan and association with disease symptoms. Plant Pathol. 66:194−211. doi:10.1111/ppa.12564

Jung, T., M. H. Jung, S. O. Cacciola, T. Cech, J. Bakonyi, D. Seress, S. Mosca, L. Schena, S. Seddaiu, A. Pane, G. M. di San Lio, C. Maia, A. Cravador, A. Franceschini, and B. Scanu. 2017b. Multiple new cryptic pathogenic *Phytophthora* species from Fagaceae forests in Austria, Italy and Portugal. IMA Fungus 8:219–244. doi:10.5598/imafungus.2017.08.02.02

Jung, T., M. H. Jung, B. Scanu, D. Seress, G. M. Kovács, C. Maia, A. Pérez-Sierra, T. T. Chang, A. Chandelier, K. Heungens, K. Van Poucke, P. Abad-Campos, M. Léon, S. O. Cacciola, and J. Bakonyi. 2017c. Six new *Phytophthora* species from ITS Clade 7a including two sexually functional heterothallic hybrid species detected in natural ecosystems in Taiwan. Persoonia 38:100–135. doi:10.3767/003158517X693615

Jyan, M. H., P. J. Ann, and R. F. Liou. 2002. Genotype analysis of *Phytophthora infestans* revealed appearance of the US-11 lineage in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 11:234–235.

Jyan, M. H., R. F. Liou, P. J. Ann, J. N. Tsai, S. D. Hsih, and T. T. Chang. 2004. Recent occurrence of *Phytophthora infestans* US-11 as the cause of severe late blight on potato and tomato in Taiwan. Can. J. Plant. Pathol. 26:188–192. doi:10.1080/07060660409507130

Kao, C. W. 1978. Root rot of *Gerbera jamesonii* caused by *Phytophthora cryptogea*. Plant Prot. Bull. 20:s11. (abstract in Chinese)

Kao, C. W. and L. S. Leu. 1977. Three unreported species of *Phytophthora* in Taiwan. Plant Prot. Bull. 19:302–303. (abstract in Chinese)

Kao, C. W. and L. S. Leu. 1979. Strawberry fruit rot caused by *Phytophthora cactorum* and *P. citrophthora*. Plant Prot. Bull. 21:239–243.

Kao, C. W. and L. S. Leu. 1982. Phytophthora stem rot of cowpea caused by *Phytophthora vignae* Purss. Plant Prot. Bull. 24:189–191.

Kao, C. W., H. Masago, and L. S. Leu. 1982. Identification of *Phytophthora* species by disc electrophoresis. Pant Prot. Bull. 24:193–200.

Kawakami, T. and R. Suzuki. 1908. List of fungi on cultivated plants of Formosa, Part I. Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa 1:1–64. (in Japanese)

Knapova, G. and U. Gisi. 2002. Phenotypic and genotypic structure of *Phytophthora infestans* populations on potato and tomato in France and Switzerland. Plant Pathol. 51:641–653. doi:10.1046/j.1365-3059.2002.00750.x

Ko, W. H. and P. J. Ann. 1985. *Phytophthora humicola*, a new species from soil of a citrus orchard in Taiwan. Mycologia 77:631–636. doi:10.1080/00275514.1985.12025148

Ko, W. H. and H. S. Chang. 1979. *Phytophthora katsurae*, a new name for *P. castaneae*. Myclolgia 71:840–844. doi:10.1080/00275514.1979.12021080

Ko, W. H., H. S. Chang, and H. J. Su. 1978a. Isolates of *Phytophthora cinnamomi* from Taiwan as evidence for an Asian origin of the species. Trans. Br. Mycol. Soc. 71:496–499.

Ko, W. H., H. S. Chang, H. J. Su, C. C. Chen, and L. S. Leu. 1978b. Peronophythoraceae, a new family of Peronosporales. Mycologia 70:380–384. doi:10.1080/00275514.1978.12020238

Kröber, H. and Marwitz, R. 1993. *Phytophthora tentaculata* sp. nov. and *Phytophthora cinnamoni* var. *parvispora* var. nov., two new fungi from ornamental plants in Germany. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 100:250–258.

Kroon, L. P. N. M., F. T. Bakker, G. B. M. Van den Bosch, P. J. M. Bonants, and W. G. Flier. 2004. Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. Fungal Genet. Biol. 41:766–782. doi:10.1016/j.fgb.2004.03.007

Kroon, L. P. N. M., H. Brouwer, A. W. A. M. de Cock, and F. Govers. 2012. The genus *Phytophthora* anno 2012. Phytopathology 102:348–364. doi:10.1094/PHYTO-01-11-0025

Leipe, D. D., S. M. Tong, C. L. Goggin, S. B. Slemenda, N. J. Pieniazek, and M. L. Sogin. 1996. 16S-like rDNA sequences from *Developayella elegans*, *Labyrinthuloides haliotidis*, and *Proteromonas lacertae* confirm that the stramenopiles are a primarily heterotrophic group. Eur. J. Protistol. 32:449–458. doi:10.1016/S0932-4739(96)80004-6

Leu, L. S. and C. C. Lee. 1976. Phytophthora blight of *Passiflora edulis* Sims. Plant Prot. Bull. 18:286–292. (in Chinese with English abstract)

Leu, L. S. and C. W. Kao. 1981. Pepper blight induced by *Phytophthora capsici*. Plant Prot. Bull. 23:59–66. (in Chinese with English abstract)

Lin, C. C. 1984. *Phytophthora* fruit rot of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* L.). Plant Prot. Bull. 26:427–429.

Lin, C. C., H. S. Chien, and H. S. Chang. 1983. Preliminary study of *Phytophthora* disease of wax apple. Plant Prot. Bull. 25:302. (abstract in Chinese)

Lin, C. C., D. N. Wang, and H. S. Chang. 1984. Fruit rot of wax apple caused by *Phytophthora palmivora*. Plant Dis. 68:351. doi:10.1094/PD-68-351b

Lin, C. P., J. N. Tsai, and P. J. Ann. 2019. First report of fig decline caused by *Phytophthora niederhauserii* in Taiwan. Plant Dis. 103:1046. doi:10.1094/PDIS-07-18-1141-PDN

Lin, Y. S. and H. R. Chang. 1982. Study on the pathogen

of root rot and collar rot of passion fruit. Plant Prot. Bull. 24:275–276. (abstract in Chinese)

Liou, R. F., J. T. Lee, and P. J. Ann. 1999. First report of *Phytophthora* blight of white arum lily caused by *Phytophthora meadii*. Plant Pathol. Bull. 8:37–40.

Lo, W. F. and C. H. Kuo. 2012. *Phytophthora* blight of *Spiranthes sinensis* caused by *Phytophthora nicotianae* and its disease control. Plant. Prot. Bull. 54:126. (abstract in Chinese)

Man in't Veld, W. A. 2001. First report of natural hybrids of *Phytophthora nicotianae* and *P. cactorum* on loquat in Taiwan. Plant Dis. 85:98. doi:10.1094/PDIS.2001.85.1.98B

Martin, F. N., Z. G. Abad, Y. Balci, and K. Ivors. 2012. Identification and detection of *Phytophthora*: Reviewing our progress, identifying our needs. Plant Dis. 96:1080–1103. doi:10.1094/PDIS-12-11-1036-FE

Martin, F. N., J. E. Blair, and M. D. Coffey. 2014. A combined mitochondrial and nuclear multilocus phylogeny of the genus *Phytophthora*. Fungal Genet. Biol. 66:19–32. doi:10.1016/j.fgb.2014.02.006

Massago, H., M. Yoshikawa, M. Fukada, and N. Nakanishi. 1977. Selective inhibition of *Pythium* spp. on a medium for direct isolation of *Phytophthora* spp. from soils and plants. Phytopathology 67:425–428.

Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., F. Panabieres, Z. Banihashemi, and D. E. L. Cooke. 2010. Phylogenetic relationship of *Phytophthora cryptogea* Pethybr. & Laff and *P. drechsleri* Tucker. Fungal Biol. 114:325–339. doi:10.1016/j.funbio.2010.02.001

Ogawa, M. 1940. Studies on castor bean disease in Taiwan. Bull. Agric Exp. Sta. Gov. Formosa 172:1–18.

Pennycook, S. R. 2012. *Phytophthora castaneae*, the correct name for *P. katsurae* nom. nov. superfl. Mycotaxon 121:327–331. doi:10.5248/121.327

Purvis, A. I., N. D. Pipe, J. P. Day, R. C. Shattock, D. S. Shaw, and S. J. Assinder. 2001. AFLP and RFLP (RG57) fingerprints can give conflicting evidence about the relatedness of isolates of *Phytophthora infestans*. Mycol. Res. 105:1321–1330. doi:10.1017/S0953756201005135

Rahman, M. Z., S. Uematsu, E. Kimishima, T. Kanto, M. Kusunoki, K. Motohashi, Y. Ishiguro, H. Suga, and K. Kageyama. 2015. Two plant pathogenic species of *Phytophthora* associated with stem blight of Easter lily and crown rot of lettuce in Japan. Mycoscience 56:419–433. doi:10.1016/j.myc.2014.12.006

Riethmuller, A., H. Voglmayr, M. Göker, M. Weiß, and F. Oberwinkler. 2002. Phylogenetic relationships of the downy mildews (Peronosporales) and related groups based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences. Mycologia 94:834−849. doi:10.1080/15572536.2003.11833177

Safaiefarahani, B., R. Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, G. E. St. J. Hardy, and T. I. Burgess. 2016. Species from within the *Phytophthora cryptogea* complex and related species, *P. erythroseptica* and *P. sansomeana*, readily hybridize. Fungal Biol. 120:975–987. doi:10.1016/j.funbio.2016.05.002

Sawada, K. 1911. *Phytophthora* disease of taro. Spec. Bull. Agr. Exp. Sta. Gov. Formosa 2:75–84. (in Japanese)

Sawada, K. 1914. Materials of the Formosan Fungi (4). Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa 19:210–217. (in Japanese)

Sawada, K. 1915. Materials of the Formosan Fungi (5). Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa 20:14–19. (in Japanese)

Sawada, K. 1916. Materials of the Formosan Fungi (10). Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa 26:174–180. (in Japanese)

Sawada, K. 1919a. Descriptive Catalogue of the Formosan Fungi. Part I. Spec. Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa 19:1–695. (in Japanese)

Sawada, K. 1919b. *Phytophthora* disease of Cyperaceae. Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa. No. 131. (in Japanese)

Sawada, K. 1927. Descriptive Catalogue of the Formosan Fungi. Part III. Rept. Dept. Agric. Gov. Res. Inst. Formosa 27:1–62. (in Japanese)

Sawada, K. 1931. Descriptive Catalogue of the Formosan Fungi. Part IV. Rept. Dept. Agric. Gov. Res. Inst. Formosa 51:1–131. (in Japanese)

Sawada, K. 1936. Study on *Phytophthora* disease of *Cinchona* in Taiwan. Formosan Agric. Rev. 32:1–21. (in Japanese)

Sawada, K. 1941. Materials of the Formosan Fungi (41). Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa 31:261–267. (in Japanese)

Sawada, K. 1942a. Descriptive Catalogue of the Formosan Fungi VII. Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa 83:101–110. (in Japanese).

Sawada, K. 1942b. *Phytophthora* species on the leaves of *Ricinus commumis*. Formosan Agric. Rev. 38:253–271. (in Japanese)

Sawada, K. 1943. Descriptive Catalogue of the Formosan Fungi VIII. Bull. Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa 85:1–131. (in Japanese)

Scanu, B., G. C. Hunter, B. T. Linaldeddu, A. Franceschini, L. Maddau, T. Jung, and S. Denman. 2014. A taxonomic re-evaluation reveals that *Phytophthora cinnamomi* and *P. cinnamomi* var. *parvispora* are

separate species. For. Pathol. 44:1–20. doi:10.1111/efp.12064

Shen,Y. M., C. H. Chao, and H. L. Liu. 2011. First report of *Phytophthora drechsleri* associated with stem and foliar blight of *Gynura bicolor* in Taiwan. Plant Dis. 95:874. doi:10.1094/PDIS-12-10-0931

Sparrow, F. K. 1960. Aquatic Phycomycetes. 2nd ed. The University of Michigan Press. Ann Arbor, Michigan. 1187 pp.

Stamp, D. J., G. M. Waterhouse, F. J. Newhook, and G. S. Hall. 1990. Revised tabular key to the species of *Phytophthora*. Mycol. Pap. 162:1–28.

Sun, J., Z. Gao, X. Zhang, X. Zou, L. Cao, and J. Wang. 2017. Transcriptome analysis of *Phytophthora litchii* reveals pathogenicity arsenals and confirms taxonomic status. PLoS ONE 12:e0178245. doi:10.1371/journal.pone.0178245

Thines, M. 2014. Phylogeny and evolution of plant pathogenic oomycetes- A global overview. Eur. J. Plant Pathol. 138:431−447. doi:10.1007/s10658-013-0366-5

Thines, M., M. Göker, S. Telle, M. Ryley, K. Mathur, Y. D. Narayana, O. Spring, and R. P. Thakur. 2008. Phylogenetic relationships of graminicolous downy mildews based on *cox*2 sequence data. Mycol Res. 112:345−351. doi:10.1016/j.mycres.2007.10.010

Thines, M., H. Voglmayr, and M. Göker. 2009. Taxonomy and phylogeny of the downy mildews (Peronosporaceae). p.47−75. *in*: Oomycete Genetics and Genomics: Diversity, Interactions, and Research Tools. (Lamour, K, and S. Kamoun, eds.) Wiley. Hoboken, NJ. 574 pp.

Tsai, J. N., P. J. Ann, C. P. Lin, and H. L. Tsai. 2020a. Studies on characters and ecology of litchi downy blight in Taiwan. J. Plant Med. 62(3):11–17. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.202009_62(3).0002

Tsai, J. N., P. J. Ann, I. T. Wong, and H. C. Huang. 2016. First report of *Phytophthora cinnamomi* causing basal stem blight and root rot of *Hypericum formosum* in Taiwan. Plant Dis. 100:1795. doi:10.1094/PDIS-02-16-0217-PDN

Tsai, J. N., R. F. Liou, P. J. Ann, J. P. Lin, and H. L.Tsai. 2019. Current status of potato and tomato late blight in Taiwan. J. Plant Med. 61(4):1–9. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.201912_61(4).0001

Tsai, J. N., H. L. Tsai, C. P. Lin, and P. J. Ann. 2020b. First report of *Phytophthora parvispora* on strawberry in Taiwan. J. Plant Med. 62(4):68. (abstract in Chinese) doi:10.6716/JPM.202012_62(4).0006

Tsay. H. C. 2002. Root rot of lavender caused by *Phytophthora parasitica* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 11:229–232. (in Chinese with English abstract) doi:10.6649/PPB.200212_11(4).0009

Tzean, S. S. (ed.). 2019. List of Plant Diseases in Taiwan. 5th ed. Taiwan Phytopathol. Soc. Taichung, Taiwan. 329 pp. (in Chinese)

Van de Peer, Y. and R. De Wachter. 1997. Evolutionary relationships among the eukaryotic crown taxa taking into account site-to-site rate variation in 18S rRNA. J. Mol. Evol. 45:619−630. doi:10.1007/PL00006266

Van der Lee, T., I. De Witte, A. Drenth, C. Alfonso, and F. Govers. 1997. AFLP linkage map of the oomycete *Phytophthora infestans*. Fungal Genet. Biol. 21:278−291. doi:10.1006/fgbi.1997.0981

Van der Plaats-Niterink, A. J. 1981. Monograph of the Genus *Pythium*. Studies in Mycology, No. 21. 242 pp. Centraalbureau Voor Schimmelcultures. Baarn, The Netherlands.

Vaziri-Tehrani, B. and M. W. Dick. 1980. Amino acid composition of oomycete cell walls. Trans. Br. Mycol. Soc. 74:225–230. doi:10.1016/S0007-1536(80)80150-1

Voglmayr, H. 2003. Phylogenetic relationships of *Peronospora* and related genera based on nuclear ribosomal ITS sequences. Mycol. Res. 107:1132–1142. doi:10.1017/S0953756203008438

Wang, M. C. and S. Bartnicki-Garcia. 1974. Mycolaminarans: Storage (1→3)-β-D-glucans from the cytoplasm of the fungus *Phytophthora palmivora*. Carbohydr. Res. 37:331–338. doi:10.1016/S0008-6215(00)82922-5

Waterhouse, G. M. 1963. Key to the species of *Phytophthora* de Bary. Mycol. Pap. 92:1–22.

Waterhouse, G. M. 1970. The genus *Phytophthora* de Bary. Diagnoses (or descriptions) and figures from the original papers. Mycol. Pap. 122:59.

Webber, J. F., A. M. Vettraino, T. T. Chang, S. E. Bellgard, C. M. Brasier, and A. Vannini. 2012. Isolation of *Phytophthora* lateralis from *Chamaecyparis* foliage in Taiwan. For. Pathol. 42:136–143. doi:10.1111/j.1439-0329.2011.00729.x

Wen, Z. S. 1973. Studies on the formation factors, morphogenesis of macrosporangia and microsporangia of *Phytophthora parasitica* Dast. Master Thesis. Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 106 pp. (in Chinese with English abstract)

Win-Tin and M. W. Dick. 1975. Cytology of the oomycetes: Evidence for meiosis and multiple chromo-

some associations in Saprolegniaceae and Pythiaceae, with an introduction to the cytotaxonomy of *Achlya* and *Pythium*. Arch. Microbiol. 105:283–293. doi:10.1007/BF00447148

Yang, X., B. M. Tyler, and C. Hong. 2017. An expanded phylogeny for the genus *Phytophthora*. IMA Fungus 8:355–384. doi:10.5598/imafungus.2017.08.02.09

Ye, W., Y. Wang, D. Shen, D. Li, T. Pu, Z. Jiang, Z. Zhang, X. Zheng, B. M. Tyler, and Y. Wang. 2016. Sequencing of the litchi downy blight pathogen reveals it is a *Phytophthora* species with downy mildew-like characteristics. Mol. Plant Microbe Interact. 29:573–583. doi:10.1094/MPMI-03-16-0056-R

Yeh, J. T., S. P. Y. Hsieh, and P. J. Ann. 1998. Physiological and morphological characteristics of *Phytophthora palmivora* causing black rot of cattleya in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 7:85–93. (in Chinese with English abstract)

Yuan, C. Y., J. H. Huang, P. Y. Ting, and P. J. Ann. 2020. First report of rose blight caused by *Phytophthora nagaii* and *Phytophthora bisheria* in Taiwan. J. Plant Med. 62(4):13–22. (in Chinese with English abstract) doi:10.6716/JPM.202012_62(4).0002

Zhang, Z. G., X. B. Zheng, Y. C. Wang, and W. H. Ko. 2007. Evaluation of the rearrangement of taxonomic position of *Peronophythora litchii* based on partial DNA sequences. Bot. Stud. 48:79–89.

Phytophthora Species in Taiwan and Their Host Range: A Review

Jin-Hsing Huang[1], Chu-Ping Lin[2], Chiao-Wen Huang[2], Jyh-Nong Tsai[3], and Pao-Jen Ann[4,*]

Huang, J. H., C. P. Lin, C. W. Huang, J. N. Tsai, and P. J. Ann. 2023. *Phytophthora* species in Taiwan and their host range: A review. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):289–316.

Abstract

Phytophthora, a genus of Oomycetes, is notorious due to its impact on agriculture worldwide. Since *Phytophthora infestans* de Bary was named in 1876, about 200 species of *Phytophthora* have been identified and published worldwide. So far, about 40 species of *Phytophthora* have been reported in Taiwan, including *P. amaranthi*, *P. attenuata*, *P. bishii* (= *P. bisheria*), *P. boehmeriae*, *P. cactorum*, *P. cambivora*, *P. capensis*, *P. capsici*, *P. castaneae* (= *P. katsurae*), *P. chlamydospora*, *P. cinnamomi*, *P. citricola*, *P. citrophthora*, *P. colocasiae*, *P. cryptogea*, *P. cyperi*, *P. drechsleri*, *P. flexuosa*, *P. formosa*, *P. heveae*, *P. humicola*, *P. infestans*, *P. insolita*, *P. intricata*, *P. lateralis*, *P. leersiae*, *P. lepironae*, *P. litchii* (= *Peronophythora litchii*), *P. macrospora*, *P. meadii*, *P. melonis*, *P. multivesiculata*, *P. nagaii*, *P. nicotianae* (= *P. parasitica*), *P. niederhauserii*, *P. palmivora*, *P. parvispora*, *P. plurivora*, *P. tropicalis*, and *P. vignae*. This article provides a comprehensive review of these species, focusing on their host ranges, publication dates, and related literature, in the hopes of serving as resources for further research. As taxonomic rules for hybrid species are not yet formalized, *Phytophthora* hybrids identified in Taiwan are not included in the discussion.

Key words: *Phytophthora*, Plant diseases, Host.

Received: May 23, 2023; Accepted: September 20, 2023.
* Corresponding author, e-mail: pjann@tari.gov.tw
1 Associate Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
2 Assistant Research Fellows, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
3 Research Fellow and Division Director, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
4 Former Research Fellow and Division Director, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):317–332 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0003 研究報告

少根紫萍 (*Landoltia punctata*) 在養豬放流水中的生長評估

林柏文[1] 張淑貞[2,*] 李艷琪[3] 陳琦玲[4] 石憲宗[5]

摘要

林柏文、張淑貞、李艷琪、陳琦玲、石憲宗。2023。少根紫萍 (*Landoltia punctata*) 在養豬放流水中的生長評估。台灣農業研究 72(4):317–332。

浮萍 (duckweed) 生長快速、富含蛋白質，常被應用在工業、畜牧業、食品業及生活廢水的淨化，可有效去除水體中的氮與磷。本研究評估少根紫萍 (*Landoltia punctata*) 養殖於養豬放流水 (SW-I 與 SW-II) 的生長情形與水質變化，及其於濱海魚塭的生長評估。於耐受性評估中，少根紫萍養殖於以 reverse osmosis (RO) 水稀釋成不同倍數的 SW-I 中，1 wk 後 SW-I 的電導度 (electrical conductivity; EC) 值減少 27−52%，pH 值提高至 9.1−9.9，以 RO 水稀釋至 40× 體積的 SW-I 顯著促進少根紫萍生長，鮮重增加 1.7 倍。若以 EC 值達 1,696 μS cm^{-1} 的當地地下水稀釋成不同倍數的 SW-II，作為栽培試驗之生長水體，預測在稀釋至 70.6× 體積的 SW-II 時有最佳鮮重；而在稀釋至 109.9× 體積的 SW-II 時，健康葉狀體面積百分率可達 92.5%，與純地下水養殖的少根紫萍處理無顯著差異。在濱海魚塭的瀝水籃中投放 30% 初始生長面積的少根紫萍，於日均溫較高且日均風速小時，1 wk 內植體生長速率達 2.8 mg cm^{-2} d^{-1}。上述試驗結果皆可作為未來少根紫萍量產參考，以期後續可應用為動物飼料與生質燃料原料。

關鍵詞：浮萍、循環農業、生物復育、替代蛋白。

前言

台灣養豬產業年產值逐年提升，截至 2021 年已近 767 億元，2022 年 11 月底全台養豬達 531 萬頭，每天產生 106,200 m^3 的糞尿 (Council of Agriculture 2022, 2023)。為維護養豬場衛生，常以大量的水沖洗豬舍糞尿，後續產生之糞尿廢水為有機廢水，經農業部多年輔導，養豬場多採用三段式廢水處理系統，以達到『水汙染防治法』的放流水標準，即生化需氧量 (biochemical oxygen demand; BOD) 低於 80 mg L^{-1}、化學需氧量 (chemical oxygen demand; COD) 低於 600 mg L^{-1} 及懸浮固體 (suspended solids; SS) 低於 150 mg L^{-1}，雖然廢水可藉由延長厭氧處理與好氣處理而達上述標準 (Su *et al*. 2020)，放流水所含總氮與總磷濃度亦能有效降低，然其濃度仍分別維持在 54−164 mg L^{-1} 與 23−25 mg L^{-1} 的範圍 (Tsai & Chou 2005)，顯示放流水體仍具一定程度的營養成分。為符合台灣環境部『水污染防治措施及檢測申報管理辦法』的畜牧糞尿資源化處理措施，放流水進入灌排系統後，可再被導入農田以澆灌作物 (Chen *et al*. 2018a)。然而，放流水電導度 (electrical conductivity; EC) 常高於 2,000 μS cm^{-1}，超過『灌溉用水水質標準』750 μS cm^{-1} 的上限 (Koh *et al*. 2004)，故畜牧糞尿的再利用，須依國內農地土壤性質與農作物之耐受度進行調整，例

投稿日期：2023 年 7 月 28 日；接受日期：2023 年 10 月 2 日。
* 通訊作者：scchang@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所應用動物組助理研究員。台灣 台中市。
[2] 農業部農業試驗所應用動物組副研究員。台灣 台中市。
[3] 農業部農業試驗所農業化學組助理研究員。台灣 台中市。
[4] 農業部農業試驗所農業化學組研究員。台灣 台中市。
[5] 農業部農業試驗所應用動物組研究員兼組長。台灣 台中市。

如 Huang (2013) 將養豬廢水導入人工濕地，透過栽培空心菜 (*Ipomoea aquatica* Forsk.) 與布袋蓮 (*Pontederia crassipes* Mart.) 去除水體中的氮。

此外，浮萍 (duckweed) 因具廣泛分布與適應的特性，常被應用在工業、畜牧業、食品業及生活等廢水的淨化 (Goopy *et al*. 2004; Mohedano *et al*. 2014; Devlamynck *et al*. 2021)。浮萍為水生漂浮植物，屬於天南星科 (Araceae) 的浮萍亞科 (Lemnoideae)，已記錄至少 5 屬 36 種，通常生活在池塘或湖泊中，世界各地除極地以外皆可見其蹤跡，由於其生長與繁殖速度快，具廣泛的適應能力 (Baek *et al*. 2021)；另 Toyama *et al*. (2018) 指出浮萍對水中無機鹽類具有良好的吸收能力，可被應用於處理家庭與養豬廢水，如水萍 (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.)、小葉浮萍 (*Lemna minor* L.)、腫浮萍 (*Lemna gibba* L.) 及少根紫萍 (*Landoltia punctata* (G. Mey.) Les & D. J. Crawford) 可於 4 d 內有效移除養豬放流水中的氮。雖然少根紫萍於冬季時對廢水的淨化效率較差，但總氮去除率仍逾 50% (Huang 2008)。而 Mohedano *et al*. (2012) 於巴西的畜牧場，以面積合計 237 m^2 的雙水池利用養豬放流水養殖少根紫萍，顯示其可分別去除水體中 96% 氮與 89% 磷，且植體乾重產量達 55.3 Mg ha^{-1} yr^{-1}，少根紫萍生長於含氮與磷較高的水體時，其粗蛋白質平均含量可逾 35%，為蛋白質含量豐富的植物。

將浮萍整合至養豬場域的系統，有助於生態循環，減少營養物質在農業生產中的損耗，浮萍亦可作為動物飼料原料，能減緩飼料原料價格波動對產業所產生的負面影響 (Gwaze & Mwale 2015)。在美國 (Moss 1999)、墨西哥 (Gutiérrez *et al*. 2001)、英國 (Tallentire *et al*. 2018)、德國 (Demann *et al*. 2023)、荷蘭 (El-Shafai *et al*. 2004; van der Spiegel *et al*. 2013)、波蘭 (Sońta *et al*. 2019)、韓國 (Baek *et al*. 2021)、孟加拉 (Islam *et al*. 1997; Azim & Wahab 2003)、台灣 (Lin *et al*. 2015; Tsai 2019)、衣索比亞 (Gule *et al*. 2023)、南非 (Mwale & Gwaze 2013; Gwaze & Mwale 2015) 及澳洲 (Leng *et al*. 1995; Damry *et al*. 2001; Goopy & Murray 2003; Brown *et al*. 2013) 等國的研究，普遍關注浮萍作為動物食物其營養價值與經濟效益研究評估，此有助於加速推動浮萍成為陸生或水產養殖動物飼料原料的應用。由既有研究可知，浮萍於仔豬飼料的添加量，一般不超過總量 10% (Gutiérrez *et al*. 2001)，可取代飼料中的大豆粕比例則高達 20% (Moss 1999)；Leng *et al*. (1995) 指出傳統上浮萍可用來餵食草魚 (*Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes)) 與尼羅口孵非鯽 (*Oreochromis niloticus* (L.))，而 Tsai (2019) 則發現可以使用小葉浮萍餵食紅尼羅魚 (*Oreochromis* spp.)，可替代飼料總量之 16.5%。值得注意的是，浮萍單位面積的蛋白質產量，高於大豆、水稻及玉米，特別適合用來提高非作物栽培區的生產力 (Baek *et al*. 2021)，顯示浮萍類植物具有作為家畜、家禽及水產等養殖動物飼料的潛力，以替代大豆與玉米等傳統的植物性蛋白質飼料原料。

本研究擬探討少根紫萍在養豬放流水體之養殖條件，並評估其在海濱畜牧場環境量產的可行性，以期建立浮萍在畜牧場的量產方法。未來將可應用此浮萍取代部分動物飼料中的植物性蛋白，具體呈現循環農業概念，更能避免受制於國際上大豆等作物價格波動的影響，進而有效解決國內動物飼料價格上揚的產業問題。

材料與方法

浮萍培養與種類鑑定

自南投縣埔里鎮茭白筍田採集浮萍，清洗後浸於 1% $NaClO_{(aq)}$ 30 s，再以逆滲透 (reverse osmosis; RO) 水浸洗 3 次，每次 1 min；將浮萍移至 1/2 Hoagland E 培養液 (Hoagland E medium; HEM)，於 25 ± 1℃、8 h/16 h 光暗週期下馴養，每週更換 1 次培養液 (Wu *et al*. 2009)，並初步依其葉背顏色與根系形態進行分離培養 (Yang 2000)。

再以最適用於浮萍種類鑑定的 ATP 基因的非轉錄區序列進行浮萍種類鑑定 (Wang *et al*. 2010)。首先將 20 mg 浮萍放入 1.5 mL 微量離心管中，以丟棄式研磨棒磨碎後，應用 EDNA HiSpEx Plant Kit (Fisher Biotec, Wem-

bley, Australia) 萃取其 DNA；取 2 µL DNA 萃取液與 1 µL 引子對 (atp-F: 5′-ACTCGCACA-CACTCCCTTTCC-3′、atp-H: 5′-GCTTTTAT-GGAAGCTTTAACAAT-3′，各 10 pmoles)、10 µL 2X EmeraldAmp MAX HS PCR Master Mix (Takara Bio Inc., Shiga, Japan) 及 7 µL ddH_2O 混合後以聚合酶連鎖反應儀 (GeneAmp® PCR System 2400, PerkinElmer, Inc., Shelton, CT, USA) 進行 polymerase chain reaction (PCR)。PCR 條件：於 94℃ 2 min、60℃ 1 min 及 72℃ 1 min，接著在 95℃、53℃及 72℃各 30 s 的設定下循環 30 次，最後於 72℃ 7 min。繼以 TOPO TA Cloning Kit (Invitrogen, Waltham, MA, USA) 進行 PCR 產物選殖，再送交源資國際生物科技股份有限公司 (Tri-I Biotech Inc., Taichung, Taiwan) 以核酸分析儀 (ABI 3730 DNA Analyzer, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) 定序。所得序列以 Vector NTI® Suite 9.0 軟體 (Invitrogen, Waltham, MA, USA) 之 ContigExpress™ 程式進行整理；最後應用 Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (National Center for Biotechnology Information, Bethesda, MD, USA) 與 GenBank 資料庫比對 ATP 基因的非轉錄區序列，以確認浮萍種類。

養豬放流水取樣與水質分析

養豬放流水 I (swine waste water I; SW-I) 與養豬放流水 II (swine waste water II; SW-II) 取自彰化縣芳苑鄉的 2 處不同畜牧場的放流口，座標分別為 23°59'44.5"N、120°22'00.3"E 與 23°58'45.8"N、120°20'35.5"E，並自後者座標所在位置，採取當地地下水 (local groundwater; LGW)。水體樣本密封並冷藏於 4℃下備用。

樣本水質依據環境部公告之方法檢測 (NIEA W203.51B、NIEA W424.53A、NIEA W444.51C、NIEA W448.51B 及 NIEA W452.5)。以多功能水質測試儀 (MultiLine® Multi 3630 IDS Multi-Parameter Portable Meter, WTW, London, UK) 測定水中氫離子濃度指數 (pH 值) 與 EC；樣本經孔徑 8 µm 濾紙 (Whatman® qualitative filter paper, Grade 2, Cytiva, Marlborough, MA, USA) 過濾後，以自動化學分析儀 (Astoria Analyzer, Astoria-Pacific, Inc, Clackamas, OR, USA) 進行流動注入分析 (flow injection analysis; FIA)，測定氨態氮 (NH_3-N)、硝酸態氮 (NO_3^- -N) 及總磷。

葉狀體尺寸量化與健康判定

為快速且合理地計算少根紫萍葉狀體面積，葉狀體依長度區分成大片 2.4−3.4 mm、中片 1.4−2.4 mm、小片 0.4−1.4 mm 及特小片 < 0.4 mm 等肉眼可明顯區分的 4 類尺寸，特小片葉狀體不列入後續計算。分別自大、中及小片尺寸的葉狀體隨機取樣 10 片，以解剖顯微鏡 (SteREO Discovery.V20 microscope, Carl Zeiss AG, Württemberg, Germany) 與影像擷取軟體 (Tekfar Digital Camera XCAM4L8MPB and TekfarProVision X64,4.11.20314.20220220, Tekfar Science Co., Ltd., Tainan, Taiwan) 量測葉面長度，接著應用圖像處理軟體 (ImageJ 1.54d version, National Institutes of Health, Bethesda, ML, USA) 計算葉狀體面積，並進行葉狀體長度與面積的直線迴歸分析。後續以大、中及小片長度的中位數 2.9、1.9 及 0.9 mm 代入迴歸方程式，可得到各尺寸葉狀體的中位數面積。

在判定葉狀體健康的方面，若單一葉狀體的面積有 50% 以上出現缺綠 (chlorosis) 或組織浸離 (maceration)，則歸為非健康葉狀體。後續試驗僅須判定葉狀體尺寸類別與健康情形，即可瞭解各處理少根紫萍葉狀體健康面積占比，本研究推估少根紫萍健康葉狀體面積百分率 (%) = [Σ(各尺寸中位數面積 × 該尺寸健康葉狀體數) ÷ Σ(各尺寸中位數面積 × 該尺寸總葉狀體數)] × 100%。

少根紫萍對養豬放流水的耐受性評估

為評估少根紫萍對養豬放流水的耐受性，將 SW-I 以 RO 水稀釋至 1× (原液)、4×、10× 及 40× 體積等 4 種水體，分別取 200 mL 水體至圓形塑膠盒 (diameter = 8.67 cm、area = 59.05 cm^2)，再投放 20 片總重為 17.4 ± 0.3 mg 的少根紫萍，於 25 ± 1℃、8 h/16 h 光暗週期下培養 1 wk 後，以手持式電導度檢測計

(Eutech^{TM} ECTestr11 Dual Range Conductivity Tester, Thermo Fisher Scientific, Inc., Waltham, MA, USA) 與酸鹼值檢測計 (Eutech^{TM} pHTestr 10 pH Meter, Thermo Fisher Scientific, Inc., Waltham, MA, USA) 分別檢測水體 EC 值與 pH 值，並以衛生紙吸去多餘水分，再秤得植體鮮重，試驗重複 5 次。

地下水稀釋養豬放流水之栽培試驗

試驗分 2 階段進行，第 1 階段是低度稀釋 SW-II 之栽培試驗，第 2 階段則為高度稀釋 SW-II 之栽培試驗。第 1 階段試驗將 SW-II 以 LGW 分別稀釋至 20×、40×、60× 及 80× 體積等 4 種水體，再各取 200 mL 加入至圓形塑膠盒，並投入鮮重 100 mg 的少根紫萍，於 25 ± 1℃、8 h/16 h 光暗週期下培養 1 wk 後，檢測水體 EC 值與 pH 值，並以解剖顯微鏡觀察葉狀體健康情形，同時以影像擷取設備拍照，最後以衛生紙吸去葉狀體上的多餘水分，秤量植體鮮重，試驗重複 5 次。第 2 階段試驗將 SW-II 以 LGW 分別稀釋至 80×、100× 及 200× 體積等 3 種水體，其餘流程同上，1 wk 後記錄少根紫萍的健康情形與鮮重，試驗重複 5 次。

少根紫萍在濱海魚塭場域的生長評估

為利計算少根紫萍初始投放面積，須瞭解紫萍投放密度與植體鮮重的關係。將 5 L 的地下水裝於黃色塑膠盆 (密林 500 盆) 中，此時水表面積為 1,200.31 cm^2，接著投入少根紫萍，1 h 後紫萍會擴散於水面，陸續將紫萍流入以保麗龍板區隔出的 40% 面積區域裡，直到該區域的水表被葉狀體上下不重疊的紫萍填滿，再以 30 目不鏽鋼標準篩收集該區域的紫萍，並瀝除自由水，以衛生紙吸去葉狀體表面的水分後，秤植體鮮重，試驗重複 5 次，最後計算出投放密度係數，以作為投放面積的參考，投放密度係數 (mg cm^{-2}) = 植體鮮重 ÷ 生長水表面積。

接著評估少根紫萍量產的可行性，選定彰化縣芳苑鄉與養豬場比鄰的濱海魚塭場域 (area = 509.18 m^2)，座標為 23°58'44.8"N、120°20'34.9"E，每週注入 3.06 m^3 的養豬放流水，並注入 100× 體積的地下水，此時水池深約 0.6 m。將瀝水籃 (diameter = 22.4 cm、area = 394.08 cm^2) 固定並漂浮於場域水面，再投放 10% 或 30% 初始生長面積的少根紫萍，1 wk 後完成 1 次養殖週期，最後收穫植體並秤重，共有 I、II、III、IV 及 V 等 5 個養殖週期，每個週期皆計算植體生長速率，同時收集場域附近的交通部中央氣象局王功漁港氣象站 (23°58'5.7"N、120°19'33.1"E) 的日均溫、日均風速及日降雨量，試驗期間為 2022 年 11 月 2 日至 12 月 7 日。

統計分析方法

數據統計以 Statistical Product and Service Solutions 26 (SPSS 26, IBM, New York, NY, USA) 軟體進行分析。在迴歸分析 (regression analysis) 中，以線性或二次模型進行估計，若具顯著性 ($P < 0.05$)，則以該模型解釋自變數與應變數的關係。在多重比較法中，先以雷文檢定 (Levene's test) 判別變異數是否具同質性 (equality of variances)，若未達顯著 ($P <$ 0.05)，則進一步使用變異數分析 (analysis of variance; ANOVA)，達顯著時 ($P > 0.05$)，使用事後 (post hoc) 檢定中的最小顯著差異性測驗 (Fisher's protected least significant difference (LSD) test) 進行分析。

結果

茭白筍田的浮萍種類

以 atp-F/atp-H 引子對增幅 2 種浮萍的 ATP 基因的非轉錄區並利用 BLAST 分析後，茭白筍田的浮萍優勢種序列長度為 727 bp，與中國的少根紫萍 (*Landoltia punctata*) (GenBank: KJ630555) 序列完全相同，且葉片倒卵形至橢圓形，葉狀體表面淺綠至深綠色，葉狀體邊緣與腹面則呈紅紫色，有 3−5 條根 (圖 1A)；序列長度為 690 bp 的浮萍族群較少，與中國的青萍 (*Lemna aequinoctialis*) (GenBank: KJ630511) 序列有 98.8% 的相似度，葉狀體長橢圓形，表面、邊緣及腹面呈綠色，僅 1 條根 (圖 1B)。故推論茭白筍田中族群數量較少的浮萍種類為青萍，並取優勢種少根紫萍進行後續試驗。

養豬放流水與 LGW 水質

SW-I、SW-II 及 LGW 均取自芳苑濱海地區，pH 值介在 7.6−7.9 (表 1)。SW-I 與 SW-II 的 EC 值高達 5,010−5,120 μS cm^{-1}，LGW 則為 1,696 μS cm^{-1}，皆超過 1/2 HEM 的 EC 值與灌溉水質基準值 (EC < 750 μS cm^{-1})。相對 1/2 HEM，SW-I 與 SW-II 為富含更多的氮與磷之水體，兩者的總氮濃度分別為 465.0 與 177.0 mg L^{-1}，而總磷濃度分別為 18.8 與 28.7 mg L^{-1}。

葉狀體各尺寸的面積

隨著少根紫萍葉狀體長度的增加，葉面積亦隨之變大，直線迴歸方程式為 $y = 1.4541x - 0.6063$ ($R^2 = 0.9404$) (圖 2)，二者高度相關。應用葉狀體各尺寸長度的中位數，經此直線迴歸方程式，計算出大、中及小片葉狀體面積分別為 3.61、2.16 及 0.70 mm^2，該數據可應用於健康葉狀體面積百分率，快速且合理地計算出各處理少根紫萍葉狀體的健康面積占比。

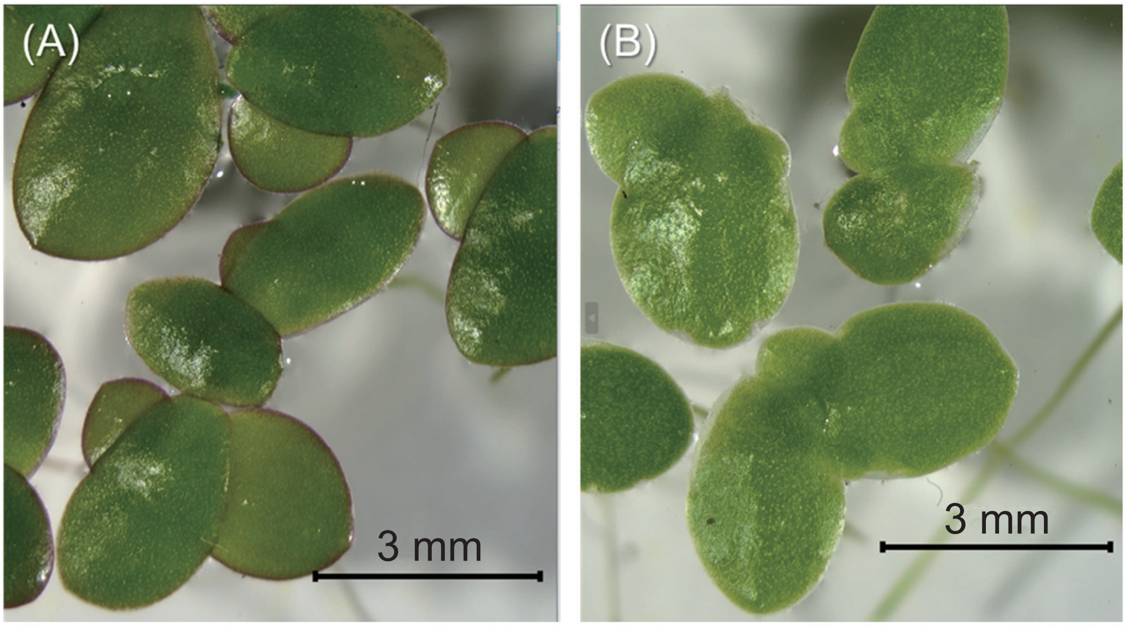

圖 1. 浮萍葉狀體外觀：(A) 少根紫萍與 (B) 青萍。圖中比例尺為實際長度的 3 mm。

Fig. 1. The appearance of duckweed fronds: (A) *Landoltia punctata* and (B) *Lemna aequinoctialis*. The scale in the image represents an actual length of 3 mm.

表 1. 彰化縣芳苑鄉養豬場域放流水與地下水的水質。

Table 1. The water quality of swine wastewater and groundwater in the pig farm in Fangyuan Township, Changhua County.

Sample	pH	EC[z] (μS cm^{-1})	Total N (mg L^{-1})	Total P (mg L^{-1})
Swine wastewater I (SW-I)[y]	7.9	5,120	465.0	18.8
Swine wastewater II (SW-II)[x]	7.6	5,010	177.0	28.7
Local groundwater (LGW)[x]	7.6	1,696	2.8	0.3
1/2 Hoagland E-mediun	5.5	557	49.7	3.8

[z] EC: electrical conductivity.
[y] Swine wastewater I was collected in Fangyuan township (23°59'44.5"N, 120°22'00.3"E) on July 6, 2022.
[x] Swine waste water II and local groundwater were collected in Fangyuan Township (23°58'45.8"N, 120°20'35.5"E) on July 19, 2022.

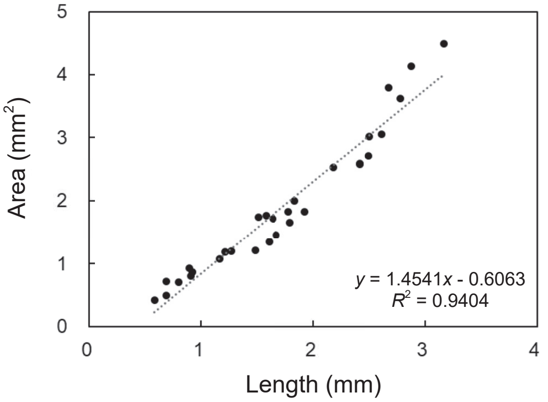

圖 2. 少根紫萍葉狀體長度與面積的關係。從大、中及小片 3 種尺寸各隨機挑選 10 片葉狀體進行長度與面積的量測，每個點代表一片葉狀體的量測值。

Fig. 2. The correlation between frond length and area of *Landoltia punctata*. Ten fronds were randomly selected from each of the three size categories, large, medium, and small, for measurements of length and area. Each point represents a measurement value from an individual frond.

少根紫萍對養豬放流水的耐受性

將 SW-I 以 RO 水分別稀釋成不同倍數的水樣後，投入少根紫萍養殖 1 wk，水樣 EC 值與 pH 值變化如圖 3。不同稀釋倍數的 SW-I 水樣於處理 3 d 後 (day after treatment; DAT) 的 EC 值即顯著降低，而 pH 值則顯著升高；至 7 d 仍維持同樣的趨勢，最終水樣 EC 值較 0 d 時減少 27−52%，且 pH 值高達 9.1−9.9，呈鹼性。

少根紫萍養殖在 1/4 SW-I 與 1 SW-I 水樣中，7 d 後皆已無健康的葉狀體並嚴重缺綠 (圖 4)，甚至在 1 SW-I 水樣中，部分植體沉降於水底；而在 1/10 SW-I 水樣中，葉狀體之間明顯分離，無法有效以枝狀體連結彼此；水體顏色除了未稀釋的養豬放流水 (1 SW-I) 顏色變淡，以及 RO 水處理的水樣無明顯變化外，其他處理的水樣偏綠色，明顯有藻類孳生。在少根紫萍鮮重方面，1/40 SW-I 水樣可促進植體生長，鮮重為 30.2 mg，顯著多於對照組，同時健康葉狀體面積百分率亦可達 98.8%。

地下水稀釋養豬放流水栽培情形

在第 1 階段低度稀釋 SW-II 之栽培試驗中，1/40 與 1/60 SW-II 處理養殖 1 wk 後，部分葉狀體已呈現缺綠或組織浸離 (圖 5A)，在第 2 階段高度稀釋試驗中，各處理葉狀體外觀則無明顯為害狀。2 個階段試驗中，各處理組的植體鮮重皆與對照組無顯著差異 (圖 5B)，但以 1/80 SW-II 處理有最佳葉狀體鮮重的趨勢，以第 1 階段試驗數據進行迴歸分析，不同稀釋倍數 SW-II 與植體鮮重呈現顯著的二次曲線關係 (圖 6A)，其方程式為 $y = -86{,}448x^2 + 2{,}451x + 139$ ($R^2 = 0.9962$)，依此模型推估，SW-II 以 LGW 稀釋至 70.6× 體積，可累積最多植體鮮重。

結合 2 階段試驗數據，不同稀釋倍數 SW-II 與健康葉狀體面積百分率呈現顯著的二次曲線關係 (圖 6B)，其方程式為 $y = -169{,}606x^2 + 1{,}543x + 93$ ($R^2 = 0.8991$)。依此曲線模型可知，對照組的健康葉狀體面積百分率為 92.5%，若以 SW-II 養殖少根紫萍，至少須以 LGW 稀釋至 109.9× 體積，才可達到相同標準。

少根紫萍在濱海魚塭場域的生長情形

少根紫萍於密林 500 盆水面不重疊生長、布滿40%水表面積時，其重量為12.88 ± 1.40 g，即投放密度係數為 26.826 mg cm^{-2}，故推算在場域的瀝水籃中投放 10% 或 30% 初始生長面積的少根紫萍時，重量分別為 3.17 g 與 1.06 g。

2022 年於養殖週期 I、II 及 III 投放 30% 初始生長面積的少根紫萍 (圖 7)，1 wk 後鮮重增加率為 177.3−259.7%，尤以養殖週期 II 的紫萍生長表現最好，已完整覆蓋瀝水籃的水面，植體生長速率達 2.8 mg cm^{-2} d^{-1}，換算為 282.4 kg ha^{-1} d^{-1}，相對而言，該批養殖期間的日均溫較高，且日均風速較小、日降雨量較少。於養殖週期 IV 與 V 投放 10% 初始生長面積的少根紫萍，植體生長速率皆小於上述 3 個週期，又以週期 V 最低，僅 0.46 mg cm^{-2} d^{-1}，同時為所有試驗期間，日均溫最低且日均風速較大的養殖週期。

討論

茭白筍田的浮萍主要為少根紫萍與青萍

南投縣埔里鎮茭白筍田中採集到的浮萍優

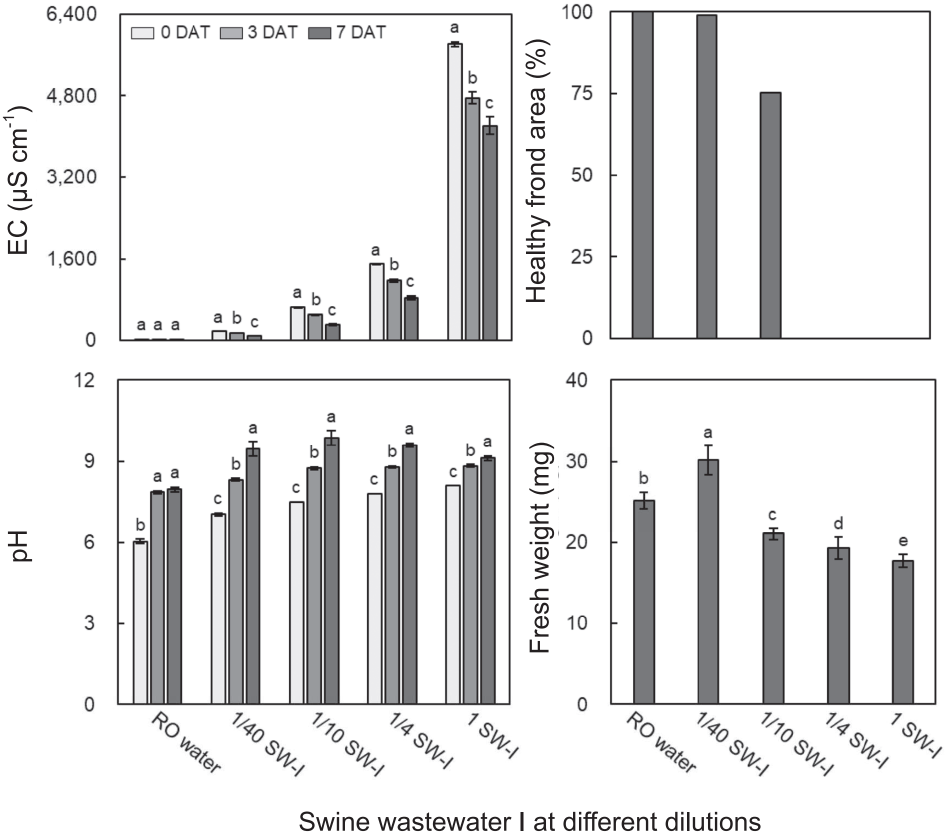

圖 3. 以 reverse osmosis (RO) 水稀釋成不同倍數之養豬放流水 I (SW-I) 養殖少根紫萍後，水體電導度 (electrical conductivity; EC) 與酸鹼度的變化，以及少根紫萍健康葉狀體面積與植體鮮重的差異。數據以最小顯著差異性測驗進行統計分析，不同英文字母代表處理間具有顯著差異 ($P < 0.05$)，誤差線代表 5 次重複試驗的標準差。

Fig. 3. Variations in electrical conductivity and pH of water samples, and differences in healthy frond area and fresh weight of *Landoltia punctata* cultivated in swine wastewater I (SW-I) diluted to different multiples with reverse osmosis (RO) water. Statistical analysis was conducted using the Fisher's protected least significant difference (LSD) test, where different English letters represent significant differences ($P < 0.05$), and error bars represent the standard deviation of 5 replicate experiments.

勢種為少根紫萍，另可見部分青萍，兩者皆為全台灣廣泛分布的物種，兩者常混生在一起，但可藉由葉狀體腹面是否呈紫紅色進行區分 (Lin 2022)。本研究準備浮萍材料時，以 1% $NaClO_{(aq)}$ 進行 30 s 的消毒，隔日發現青萍白化，而少根紫萍葉狀體未明顯受損，顯示在氧化逆境下少根紫萍具有較青萍好的耐受性，且 Faizal *et al*. (2021) 在 1/10 HEM 的水體培養浮萍時，少根紫萍的生長速率、澱粉及蛋白質含量表現皆優於青萍，故本研究之後續試驗主要評估少根紫萍於不同濃度養豬放流水的生長情形。

養豬放流水為高 EC 值且高 NH_3-N 濃度的水體

台灣養豬場習慣使用地下水清潔豬舍環境，因此本研究同時於芳苑地區採樣養豬放流水與 LGW，結果顯示其 EC 值皆超過農業部訂定的灌溉水質基準，且養豬放流水的氮幾乎以 NH_3-N 型式 (游離態的 NH_3 與離子態的 NH_4^+) 存在於水體中。Lin & Chang (2015) 檢測台灣養豬放流水與地下水之水質時，其 EC 值亦分別可達 3,290 與 1,210 µS cm^{-1}，由於離子種類與其濃度反應出水體 EC 值大小，

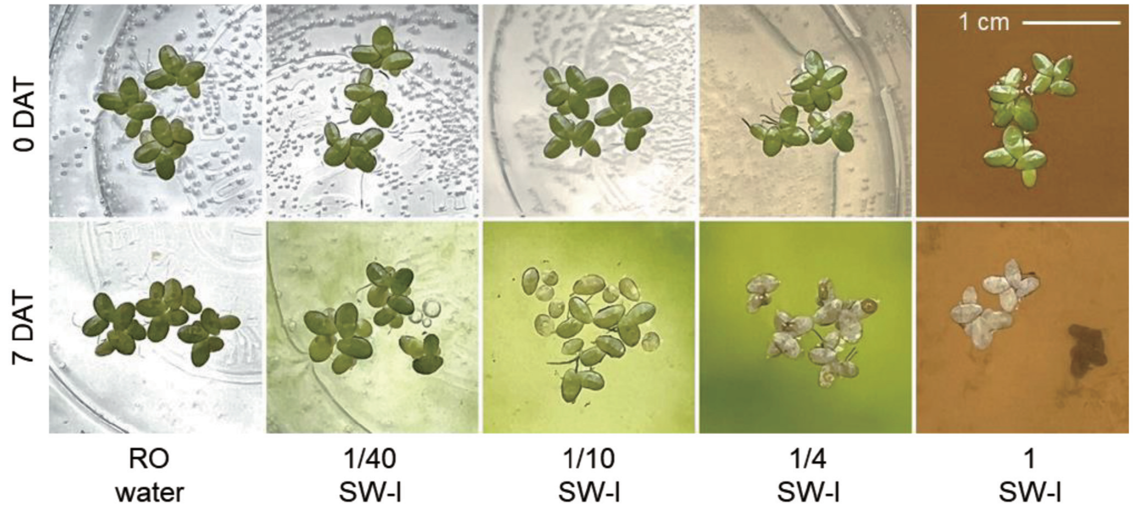

圖 4. 以 reverse osmosis (RO) 水稀釋成不同倍數之養豬放流水 I (SW-I) 養殖少根紫萍 7 d 後，葉狀體外觀與水樣顏色變化。圖中比例尺為實際長度的 1 cm。

Fig. 4. Changes in the frond appearance of *Landoltia punctata* and the color of water samples after 7 d of cultivation in swine wastewater I (SW-I) diluted to different multiples with reverse osmosis (RO) water. The scale in the image represents an actual length of 1 cm. DAT: day after treatment.

作者進一步分析出養豬放流水中的 HCO_3^- 與 CH_3COO^- 約占水體 EC 值的 32%，其次 NH_4^+ 約占 24%，Mg^{2+}、K^+ 及 Cl^- 則各約占 7%，其結果與本研究相符，養豬放流水為高 EC 值且高 NH_3-N 濃度的水體。

少根紫萍生長會使養豬放流水 EC 值下降與 pH 值升高

評估少根紫萍對養豬放流水的耐受性時，不同稀釋倍數之 SW-I 的 EC 值皆隨時間推移而顯著減少。台灣養豬放流水中以 HCO_3^-、CH_3COO^- 及 NH_4^+ 等 3 種離子濃度的多寡對水體 EC 值的變化影響最大 (Lin & Chang 2015)，故推測 SW-I 的 HCO_3^-、CH_3COO^- 及 NH_4^+ 等離子濃度降低。而水體 EC 值下降之因可歸納成 3 種可能：少根紫萍本身可有效率地移除水體中的離子，累積在植體內 (Zhou *et al*. 2023)；於 1/4、1/10 及 1/40 SW-I 明顯有伴生的藻類，與少根紫萍一樣吸收了離子；SW-I 因一連串的生化作用，其 pH 值升高而致水中 NH_4^+ 轉成非離子態氮 (Yu 2010)，如 NH_3 與 N_2O，在越鹼性的水體中，其 NH_3-N 由 NH_3 組成的比例越高，最後更可能造成水中的離子態氮以 NH_3 與 N_2O 的型式排放至大氣中 (Stadtlander *et al*. 2022)。

於不同稀釋倍數之 SW-I 投入少根紫萍養殖 1 wk 後，其 pH 值顯著升高。相同的趨勢亦發生在經小葉浮萍處理的養豬放流水 (Devlamynck *et al*. 2021)，和本研究的 SW-I 與 SW-II 一樣，含氮化合物類型為 NH_3-N，水體隨時間推移，EC 值下降但 pH 值升高。養豬放流水含高濃度的氮與磷元素，有利於藻類生長，本研究亦觀察到 SW-I 與 SW-II 中伴有藻類孳生，故推測水體 pH 值升高與優養化 (eutrophication) 現象相關，在藻類高度光合作用下，導致水體中 HCO_3^- 濃度迅速減少，OH^- 濃度增加，而提高 pH 值 (Verspagen *et al*. 2014)。

少根紫萍耐受性與生長評估

少根紫萍與其他植物一樣可吸收 NH_4^+ 或 NO_3^- 型式的氮，更可藉由根與葉狀體吸收營養元素，尤其偏好吸收 NH_4^+ 型式的氮 (Fang *et al*. 2007)，又 NH_4^+ 為養豬放流水中，氮元素主要存在的型式 (Lin & Chang 2015)，故少根紫萍在特定 NH_3-N 濃度水體生長的情形值得探討。本研究將 SW-I 以 RO 水稀釋至 40×

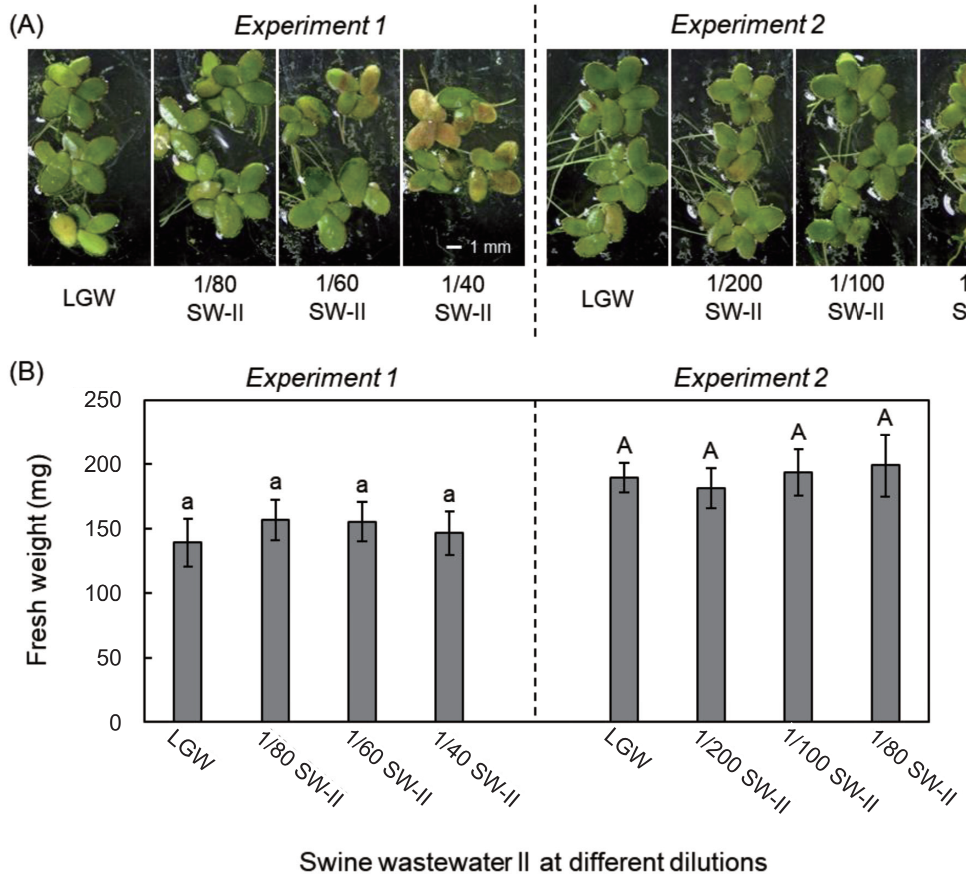

圖 5. 以當地地下水 (local groundwater; LGW) 稀釋成不同倍數之養豬放流水 II (SW-II) 養殖少根紫萍 7 d 後的差異。(A) 葉狀體外觀。圖中比例尺為實際長度的 1 mm。(B) 植體鮮重。數據以最小顯著差異性測驗進行統計分析，相同英文字母代表處理間不具有顯著差異 ($P < 0.05$)，誤差線代表 5 次重複試驗的標準差。

Fig. 5. The differences after 7 d of cultivating *Landoltia punctata* in swine wastewater II (SW-II) diluted to different multiples with local groundwater (LGW). (A) Frond appearance. The scale in the image represents an actual length of 1 mm. (B) Differences in fresh weight. Statistical analysis was conducted using the Fisher's protected least significant difference (LSD) test, where same English letters indicate no significant differences ($P < 0.05$), and error bars represent the standard deviation of 5 replicate experiments.

體積，以原水體換算其總氮含量為 11.6 mg L^{-1} (表 1)，少根紫萍在此水體生長時，葉狀體接近 100% 健康，且其鮮重顯著高於養殖於 RO 水的少根紫萍，但在 1/10 SW-I 或更低度稀釋的處理時，少根紫萍生長明顯受阻。Stadtlander *et al*. (2022) 以少根紫萍處理不同濃度稀釋的牛泥 (cattle slurry)，與本研究結果類似，7 d 後水體 pH 值提升至 8.21–8.83，而水體在 NH_3-N 濃度為 19 mg L^{-1} 時才有最佳鮮重，且並非 NH_3-N 濃度越高，越能促進少根紫萍生長，與本研究結果類似。過高的 NH_3-N 濃度會對少根紫萍的生長產生不良影響，但 Tian *et al*. (2021) 提及，少根紫萍可藉由吸收 K^+，耐受高 NH_4^+ 濃度的毒害，避免陽離子元素缺乏，而能在 400 mg L^{-1} 的 NH_3-N 下生長。

當浮萍生長於高 pH 值水體，對 NH_3-N 的耐受性變差，生長速率減緩 (Körner *et al*. 2003)，如腫浮萍 (*L. gibba*) 因高濃度 NH_4^+ 與 NH_3 所致的毒性，於 pH 值超過 9.8 的家用廢水明顯生長不良，而無法淨化水質 (Körner *et al*. 2001)，故過高的 pH 值水體對浮萍生長有直接的負面影響，更使其不利與藻類競爭

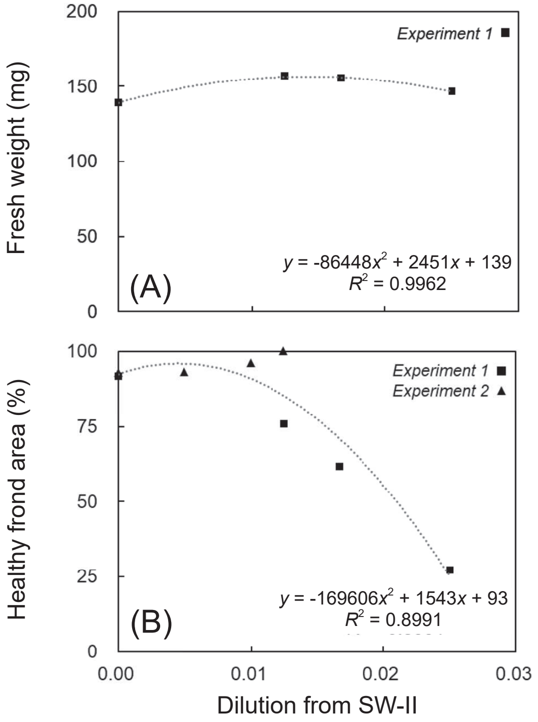

圖 6. 以當地地下水 (LGW) 稀釋成不同倍數之養豬放流水 II (SW-II) 與少根紫萍生長的關係。(A) 植體鮮重。每個點代表 5 次重複試驗的平均值。(B) 健康葉狀體面積。每個點代表 1 次重複試驗 1 處理所有葉狀體的計算值。方形點為第 1 階段低度稀釋試驗之結果，三角形點則為第 2 階段高度稀釋試驗之結果。

Fig. 6. The correlations between growth of *Landoltia punctata* and swine wastewater II (SW-II) diluted to different multiples with local groundwater (LGW). (A) Fresh weight. Each point represents the mean of 5 replicate experiments. (B) Healthy frond area. Each point represents the calculated value of one replicate experiment for a single treatment involving all fronds. The square points represent the results of the 1st-stage low dilution experiment, and the triangular points represent the results of the 2nd-stage high dilution experiment.

水體營養與生長空間。然而本研究以 RO 水將 SW-I 稀釋至 40× 體積時，最後水體 pH 值達 9.5，其少根紫萍的鮮重顯著多於以 RO 水體養殖的處理，顯示少根紫萍即使養殖於較高 pH 值水體，只要 NH_3-N 濃度適當，其生長情形仍能優於在較低 pH 值且缺乏營養的水體。

將 SW-II 以 EC 值達 1,696 μS cm^{-1} 的 LGW 稀釋至 40×、60×、80×、100× 及 200× 體積，以瞭解少根紫萍的栽培情形時，植體鮮重方面與 LGW 對照組沒有顯著差異，但 2 階段試驗在鮮重方面，皆以 1/80 SW-II 養殖的少根紫萍有最佳的趨勢。進一步以第 1 階段低度稀釋之栽培試驗結果建立曲線模型 (圖 6A)，SW-II 以 LGW 稀釋至 70.6× 體積，應可累積最多植體鮮重，以原水體換算其總氮含量為 2.5 mg L^{-1} (表 1)，然而 SW-I 以 RO 水稀釋的狀況下，則以 40× 體積 (總氮含量 11.6 mg L^{-1}) 最佳。SW-II 以 LGW 稀釋至 70.6× 體積的水體與 SW-I 以 RO 水稀釋至 40× 體積的水體相比，有較高的 EC 值與較低的 NH_3-N 濃度，但都是各自試驗中最適合少根紫萍生長的處理，故初步推論少根紫萍在高 EC 值水體中生長時，對 NH_3-N 的耐受性降低，但仍須後續試驗確認。

另外，考量到葉狀體的健康與否涉及到後續生長速率與量產可行性，僅從鮮重評估少根紫萍的生長情況還不夠全面。因此，本研究進一步分析不同稀釋倍數的 SW-II 與少根紫萍的健康葉狀體面積，發現二者呈現二次曲線關係，綜合考慮植體鮮重與葉狀體健康狀況，如果要在濱海魚塭場域中使用養豬放流水與 LGW 進行少根紫萍的養殖，稀釋倍數應至少為 109.9× 體積，這對該場域中的少根紫萍養殖最適合。然而，考量水資源的節約利用，可適當降低稀釋倍數，如以健康葉狀體面積的 90% 作為標準，則養豬放流水僅須稀釋至 95.2× 體積，後續亦可以水體所含氮與磷的去除情形作為指標，綜合評估合適的養豬放流水稀釋倍數 (Toyama *et al*. 2018)。

少根紫萍在濱海魚塭場域養殖的可行性

為評估少根紫萍量產的可行性，本研究在位於養豬場旁的濱海魚塭場域中，評估少根紫萍在濱海魚塭場域的生長，該魚塭底部不平且含有泥沙，並存在漏水問題。於每次養殖週期皆固定在較淺水處，定點量測高度，注水 70 cm 高後 1 wk，水位降至 15 cm，再 1 wk 後降至 11 cm，儘管如此，水面高度仍足夠養殖浮在水面上的浮萍。此外，由於場域靠近海邊，最大陣風可達 25 km h^{-1}，增強了池水的蒸發

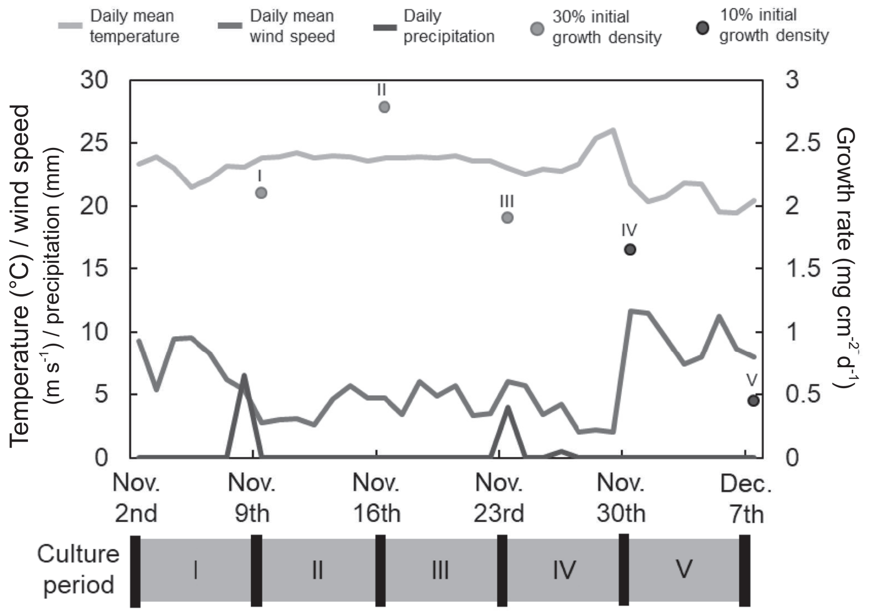

圖 7. 少根紫萍於濱海魚塭場域在 5 個養殖週期 (2022 年 11 月 2 日至 12 月 7 日) 的生長速率。各養殖週期 (I−V) 皆歷時 7 d。圖中以淺灰、中灰及深灰折線分別代表日均溫、日均風速及日降雨量的變化，而淺灰與深灰點則分別代表 30% 與 10% 的初始生長密度。

Fig. 7. The growth rate of *Landoltia punctata* in a coastal fish farm over 5 cultivation periods (November 2, 2022−December 7, 2022). Each cultivation period (I−V) lasted for 7 d. In this figure, light gray, medium gray, and dark gray polylines represent the changes in daily mean temperature, daily mean wind speed, and daily precipitation, respectively. Light gray and dark gray dots represent initial growth densities of 30% and 10%, respectively.

作用，進而減少水體體積，後續試驗可以監測水體蒸發量或 EC 值變化，釐清場域的蒸發作用強度。

該魚塭入口處為水泥斜坡，風大時浮萍會被吹上斜坡，繼而乾死，為此可考慮設置攔浮萍索，將浮萍固定在特定位置，避免其被風吹到斜坡上，或設置狹長且多水池的方式，搭配幫浦維持水體一定流速，並定期收穫植體，可避免強風使植體過度堆疊，導致無法有效利用場域的生長空間 (Mohedano *et al*. 2012; Chen *et al*. 2018b; Stadtlander *et al*. 2022)；另流水有助於維持水體氧氣濃度，或可減少浮萍生產過程中過高的 CH_4 排放量，而其他如 CO_2 與 N_2O 溫室氣體，相對未養殖浮萍場域而言，養殖浮萍場域的排放量較低 (Rabaey & Cotner 2022)。

為方便操作，將養豬放流水以 LGW 稀釋至適合少根紫萍生長的 100× 體積，於場域中養殖少根紫萍確實可行，儘管因水體 EC 值較高，少根紫萍的葉狀體有偏黃的現象，但於瀝水籃中投放 30% 初始生長面積的少根紫萍，1 wk 內仍可在 394.08 cm^2 的面積中以 282.4 kg ha^{-1} d^{-1} 的速率增長。未來擴大至以整座面積為 509.18 m^2 的魚塭場域進行量產時，若可以維持水體酸鹼偏中性與流動性及適宜的環境因素等特性，少根紫萍在養豬放流水中的增長速率應可達 830−1,810 kg ha^{-1} d^{-1} (Mohedano *et al*. 2012)。關於葉狀體顏色評估，後續可進一步以色卡檢視並定義葉面及葉背顏色，提供更精準的顏色描述，甚至分析葉狀體的葉綠素 a (chlorophyll a)、葉綠素 b (chlorophyll b) 及玉米黃素 (zeaxanthin) 等成分，瞭解葉狀體內色素的變化 (Muradov *et al*. 2014; Stewart *et al*. 2021)。雖然少根紫萍可以在高鹽分水體中生長，但仍以較低濃度營養情況下，可累積較多的生物量與澱粉含量，且最

佳生長光週期為 24 h 光照 (Liu *et al*. 2018)，所以場域中的 5 次養殖週期的光照時間，亦為變動因子之一。

浮萍於冬季養殖時，因風力、溫度及光照等問題，可預期產量低落，未來除可設計出更適合浮萍專業量產場域或複合式農畜水產養殖場域，甚至可在人造環境下調控光照強度，實現垂直多層式養殖農場，不僅可降低土地過度開發的疑慮，更達到少根紫萍的高效率量產目的 (Polutchko *et al*. 2022)。

未來商業化量產少根紫萍的應用性

少根紫萍因較容易吸收與利用 NH_4^+ 型式的氮 (Fang *et al*. 2007)，若能養殖於適當稀釋過且酸鹼偏中性的養豬放流水或其他事業廢水，則可藉植生復育法 (phytoremediation) 有效率地移除水體中過量的 NH_3-N，達到生物復育 (bioremediation) 的作用 (Zhou *et al*. 2023)。

在全球人口逐年上揚的過程，人類對蛋白質與能源的需求日益增加，如何達到聯合國通過的決議目標『讓世界走上永續與有彈性的道路』(United Nations 2015)，就須對糧食生產體系進行創新變革。為此昆蟲源、非傳統作物源及單細胞源蛋白等新興蛋白質的生產議題，已成為全球先進國家在農業科研的重要布局 (van der Spiegel *et al*. 2013)，而浮萍類植物屬於可生產植物性蛋白之非作物，可取代部分動物飼料中的大豆或玉米等作物蛋白 (Baek *et al*. 2021)，甚至依良好的生產規範，有潛力成為人類食品使用原料。Tian *et al*. (2021) 發現少根紫萍在 400 mg L^{-1} 的 NH_3-N 下生長時，雖不利於蛋白質的累積，卻可有效增加植體澱粉含量，其澱粉含量變多的特性便有利於生產生質燃料，尤其以少根紫萍作為原料生產乙醇或甲烷的能力，優於其他浮萍類植物，如小葉浮萍與腫浮萍 (Toyama *et al*. 2018)。上述少根紫萍友善生產與取代傳統作物等方面的應用，有利達到環境永續與消除飢餓的聯合國永續目標。

結論

本研究評估少根紫萍養殖於不同稀釋倍數之養豬放流水的耐受性與生長勢，以及初探其在濱海魚塭場域中生產的可行性。在以 RO 水稀釋的 SW-I 水樣中，EC 值與 pH 值隨時間增加而變化，且少根紫萍在 1–10× 體積稀釋之極高濃度的養豬放流水處理下無法正常生長，其葉狀體呈現缺綠或組織浸離。在以 LGW 稀釋的 SW-II 水樣中，植體鮮重在 40–200× 體積稀釋的養豬放流水處理間並無明顯差異，但在較高濃度的處理下部分葉狀體出現異常。在濱海魚塭場域中，投放 30% 初始生長面積的少根紫萍在日均溫較高且日均風速小的養殖週期 II 表現最佳。少根紫萍因能在高 EC 值與高營養水體中生長，適合淨化養豬放流水，故被視為生物復育中極具潛力的水生植物；若進一步利用此植體材料，可將其轉化為動物飼料或生質燃料原料，從而促進循環經濟的發展並達到環境永續。

誌謝

本研究承農業部 111 農科-14.3.1-農-C1 與 112 農科-4.4.1-農-C7 計畫經費補助，試驗期間承洪宗澤先生、朱雅琳小姐、李怡樺小姐及林怡君小姐協助相關試驗執行，海濱隆盛畜牧場林睿毅先生提供濱海魚塭場域，謹此致謝。

引用文獻

Azim, M. E. and M. A. Wahab. 2003. Development of a duckweed-fed carp polyculture system in Bangladesh. Aquaculture 218:425–438. doi:10.1016/s0044-8486(03)00012-7

Baek, G., M. Saeed, and H. K. Choi. 2021. Duckweeds: Their utilization, metabolites and cultivation. Appl. Biol. Chem. 64:73. doi:10.1186/s13765-021-00644-z

Brown, W. Y., M. Choct, and J. R. Pluske. 2013. Duckweed (*Landoltia punctata*) in dog diets decreases digestibility but improves stool consistency. Anim. Prod. Sci. 53:1188−1194. doi:10.1071/an13198

Chen, C. L., M. C. Lin, and C. Y. Liao. 2018a. Fertilization Essentials of Animal Husbandry Wastewater for Agricultural Land. Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan. Taichung, Taiwan. 76 pp. (in Chinese)

Chen, G., Y. Fang, J. Huang, Y. Zhao, Q. Li, F. Lai, Y. Xu, X. Tian, K. He, Y. Jin, L. Tan, and H. Zhao. 2018b.

Duckweed systems for eutrophic water purification through converting wastewater nutrients to high-starch biomass: Comparative evaluation of three different genera (*Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* and *Landoltia punctata*) in monoculture or polyculture. RSC Adv. 8:17927−17937. doi:10.1039/c8ra01856a

Council of Agriculture. 2022. Basic Agricultural Statistics 2021. Council of Agriculture, Executive Yuan, ROC. Taipei, Taiwan. 64 pp.

Council of Agriculture. 2023. Report on the Number of Pigs Survey, End of Nov. 2022. Council of Agriculture, Executive Yuan, ROC. Taipei, Taiwan. 63 pp.

Damry, J. V. Nolan, R. E. Bell, and E. S. Thomson. 2001. Duckweed as a protein source for fine-wool Merino sheep: Its edibility and effects on wool yield and characteristics. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 14:507–514. doi:10.5713/ajas.2001.507

Demann, J., F. Petersen, G. Dusel, M. Bog, R. Devlamynck, A. Ulbrich, H. W. Olfs, and H. Westendarp. 2023. Nutritional value of duckweed as protein feed for broiler chickens-digestibility of crude protein, amino acids and phosphorus. Animals 13:130. doi:10.3390/ani13010130

Devlamynck, R., M. F. de Souza, E. Michels, I. Sigurnjak, N. Donoso, C. Coudron, J. Leenknegt, P. Vermeir, M. Eeckhout, and E. Meers. 2021. Agronomic and environmental performance of *Lemna minor* cultivated on agricultural wastewater streams- A practical approach. Sustainability 13:1570. doi:10.3390/su13031570

El-Shafai, S. A., F. A. El-Gohary, J. A. J. Verreth, J. W. Schrama, and H. J. Gijzen. 2004. Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquac. Res. 35:574–586. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01055.x

Faizal, A., A. A. Sembada, and N. Priharto. 2021. Production of bioethanol from four species of duckweeds (*Landoltia punctata*, *Lemna aequinoctialis*, *Spirodela polyrrhiza*, and *Wolffia arrhiza*) through optimization of saccharification process and fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. Saudi J. Biol. Sci. 28:294–301. doi:10.1016/j.sjbs.2020.10.002

Fang, Y. Y., O. Babourina, Z. Rengel, X. E. Yang, and P. M. Pu. 2007. Ammonium and nitrate uptake by the floating plant *Landoltia punctata*. Ann. Bot. 99:365–370. doi:10.1093/aob/mcl264

Goopy, J. P. and P. J. Murray. 2003. A review on the role of duckweed in nutrient reclamation and as a source of animal feed. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 16:297–305. doi:10.5713/ajas.2003.297

Goopy, J. P., P. J. Murray, A. T. Lisle, and R. A. M. Al Jassim. 2004. Use of chemical and biological agents to improve water quality of effluent discharge from abattoirs. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 17:137–145. doi:10.5713/ajas.2004.137

Gule, A. H., D. B. Derese, C. M. Erge, U. G. Girgo, and H. K. Ejeta. 2023. Effect of dietary supplementation of duckweed on growth performance, carcass and non-carcass traits of horro rams fed on a commercial-based diet. Heliyon 9:e17820. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17820

Gutiérrez, K., L. Sanginés, F. Pérez, and L. Martinez. 2001. Studies on the potential of the aquatic plant *Lemna gibba* for pig feeding. Cuba. J. Agric. Sci. 35:343–348.

Gwaze, F. R. and M. Mwale. 2015. The prospect of duckweed in pig nutrition: A review. J. Agric. Sci. 7:189–199. doi:10.5539/jas.v7n11p189

Huang, H. 2008. Influence of climate condition on decontaminating swine wastewater by duckweed-cultured systems. J. Anhui Agric. Sci. 36:6946–6949. (in Chinese with English abstract)

Huang, Y. T. 2013. Field investigation on the treatment of partially-treated pigfarm wastewater by a constructed wetland. Master Thesis. Institute of Environmental Engineering, National Sun Yat-sen University. Kaohsiung, Taiwan. 98 pp. (in Chinese with English abstract)

Islam, K. M. S., M. Shahjalal, A. M. M. Tareque, and M. A. R. Howlider. 1997. Complete replacement of dietary fish meal by duckweed and soybean meal on the performance of broilers. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 10:629–634. doi:10.5713/ajas.1997.629

Koh, M. T., C. H. Hsieh, M. P. Cheng, T. H. Hsiao, Y. F. Cheng, C. C. Su, C. L. Hu, and F. N. Chen. 2004. Investigation of effluent electrical conductivity from pig farms in central and southern Taiwan. J. Taiwan Livest. Res. 37:71–80. (in Chinese with English abstract)

Körner, S., S. K. Das, S. Veenstra, and J. E. Vermaat. 2001. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. Aquat. Bot. 71:71–78. doi:10.1016/S0304-3770(01)00158-9

Körner, S., J. E. Vermaat, and S. Veenstra. 2003. The capacity of duckweed to treat wastewater: Ecological considerations for a sound design. J. Environ. Qual. 32:1583–1590. doi:10.2134/jeq2003.1583

Leng, R. A., J. H. Stambolie, and R. Bell. 1995. Duckweed- A potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. Livest. Res. Rural. Dev. 7(1):5.

Lin, C. L. 2022. Lemnoideae of Taiwan, superficially familiar but not so if looking closely. Nat. Conserv. Q. 118:42–53. (in Chinese)

Lin, H. L., Y. L. Shiu, C. Y. Tsai, C. C. Chi, and C. H. Liu. 2015. Duckweed (*Lemna minor*), as a potential protein source for red tilapia (*Oreochromis* sp.). J. Fish. Soc. Taiwan 42:115–124. doi:10.29822/JFST.201506_42(2).0005

Lin, S. C. and T. K. Chang. 2015. Relationship between species of ionic equivalent concentrations and electrical conductivity in livestock wastewater. J. Taiwan Agric. Eng. 61:1–13. (in Chinese with English abstract) doi:10.29974/JTAE.201503_61(1).0001

Liu, Y., X. Wang, Y. Fang, M. Huang, X. Chen, Y. Zhang, and H. Zhao. 2018. The effects of photoperiod and nutrition on duckweed (*Landoltia punctata*) growth and starch accumulation. Ind. Crops Prod. 115:243–249. doi:10.1016/j.indcrop.2018.02.033

Mohedano, R. A., V. F. Velho, R. H. R. Costa, S. M. Hofmann, and P. Belli Filho. 2012. Nutrient recovery from swine waste and protein biomass production using duckweed ponds (*Landoltia punctata*): Southern Brazil. Water Sci. Technol. 65:2042–2048. doi:10.2166/wst.2012.111

Mohedano, R. A., R. H. R. Costa, S. M. Hofmann, and P. Belli Filho. 2014. Using full-scale duckweed ponds as the finish stage for swine waste treatment with a focus on organic matter degradation. Water Sci. Technol. 69:2147–2154. doi:10.2166/wst.2014.136

Moss, M. E. 1999. Economics and feed value of integrating duckweed production with a swine operation. Master Thesis. Department of Animal Science, Texas Tech University. Lubbock, TX. 79 pp.

Muradov, N., M. Taha, A. F. Miranda, K. Kadali, A. Gujar, S. Rochfort, T. Stevenson, A. S. Ball, and A. Mouradov. 2014. Dual application of duckweed and azolla plants for wastewater treatment and renewable fuels and petrochemicals production. Biotechnol. Biofuels 7:30. doi:10.1186/1754-6834-7-30

Mwale, M. and F. R. Gwaze. 2013. Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production: A review. Sci. Res. Essays 8:689–697. doi:10.5897/SREX12.003

Polutchko, S. K., J. J. Stewart, M. McNamara, N. Doherty Garcia, M. López-Pozo, W. W. Adams, and B. Demmig-Adams. 2022. *Lemna* as a sustainable, highly nutritious crop: Nutrient production in different light environments. Nutraceuticals 2:350–364. doi:10.3390/nutraceuticals2040027

Rabaey, J. and J. Cotner. 2022. Pond greenhouse gas emissions controlled by duckweed coverage. Front. Environ. Sci. 10:889289. doi:10.3389/fenvs.2022.889289

Sońta, M., A. Rekiel, and M. Batorska. 2019. Use of duckweed (*Lemna* L.) in sustainable livestock production and aquaculture- A review. Ann. Anim. Sci. 19:257–271. doi:10.2478/aoas-2018-0048

Stadtlander, T., J. Bandy, D. Rosskothen, C. Pietsch, F. Tschudi, M. Sigrist, A. Seitz, and F. Leiber. 2022. Dilution rates of cattle slurry affect ammonia uptake and protein production of duckweed grown in recirculating systems. J. Clean. Prod. 357:131916. doi:10.1016/j.jclepro.2022.131916

Stewart, J. J., W. W. Adams, M. López-Pozo, N. Doherty Garcia, M. McNamara, C. M. Escobar, and B. Demmig-Adams. 2021. Features of the duckweed *Lemna* that support rapid growth under extremes of light intensity. Cells 10:1481. doi:10.3390/cells10061481

Su, T. M., C. H. Chung, T. H. Hsiao, and M. P. Cheng. 2020. Treatment effects of three-step treatment on pig wastewater with different concentrations. J. Taiwan Livest. Res. 53:82–90. (in Chinese with English abstract) doi:10.6991/JTLR.202006_53(2).0003

Tallentire, C. W., S. G. Mackenzie, and I. Kyriazakis. 2018. Can novel ingredients replace soybeans and reduce the environmental burdens of European livestock systems in the future? J. Clean. Prod. 187:338–347. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.212

Tian, X., Y. Fang, Y. Jin, Z. Yi, J. Li, A. Du, K. He, Y. Huang, and H. Zhao. 2021. Ammonium detoxification mechanism of ammonium-tolerant duckweed (*Landoltia punctata*) revealed by carbon and nitrogen metabolism under ammonium stress. Environ. Pollut. 277:116834. doi:10.1016/j.envpol.2021.116834

Toyama, T., T. Hanaoka, Y. Tanaka, M. Morikawa, and K. Mori. 2018. Comprehensive evaluation of nitrogen removal rate and biomass, ethanol, and methane production yields by combination of four major duckweeds and three types of wastewater effluent. Bioresour. Technol. 250:464–473. doi:10.1016/j.biortech.2017.11.054

Tsai, C. Y. 2019. Evaluation of duckweed (*Lemna minor*) meal as protein source for red tilapia (*Oreochromis* sp.) and applying the recombinant xylanases from *Bacillus subtilis* E20 to improve the utilization of duckweed meal. Doctoral Dissertation. Department of Aquaculture, National Pingtung University of Science and Technology. Pingtung, Taiwan. 74 pp. (in Chinese with English abstract) doi:10.6346/NPUST201900241

Tsai, M. C. and C. Y. Chou. 2005. Biological nutrient removal for swine wastewater. J. Agric. Mach. 14(4):1–12. (in Chinese with English abstract) doi:10.30062/JAM.200512.0001

United Nations. 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. United Nations General Assembly. New York, NY. 35 pp.

van der Spiegel, M., M. Y. Noordam, and H. J. van der Fels-Klerx. 2013. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf. 12:662–678. doi:10.1111/1541-4337.12032

Verspagen, J. M. H., D. B. Van de Waal, J. F. Finke, P. M. Visser, E. Van Donk, and J. Huisman. 2014. Rising CO2 levels will intensify phytoplankton blooms in eutrophic and hypertrophic lakes. PLoS One 9:e104325. doi:10.1371/journal.pone.0104325

Wang, W., Y. Wu, Y. Yan, M. Ermakova, R. Kerstetter, and J. Messing. 2010. DNA barcoding of the *Lemnaceae*, a family of aquatic monocots. BMC Plant Biol. 10:205. doi:10.1186/1471-2229-10-205

Wu, C. I., Y. Y. Juang, Y. H. Lee, and T. H. Shyu. 2009. Toxicity tests of six heavy metals using two common duckweeds in Taiwan. Plant Prot. Bull. 51:69–82. (in Chinese with English abstract) doi:10.6715/ppb.200912_51(3_4).0001

Yang, Y. P. 2000. Lemnaceae. p.695–697. *in*: Flora of Taiwan. 2nd ed. Vol. 5. (Boufford, D. E., C. F. Hsieh, T. C. Huang, C. S. Kuoh, H. Ohashi, H. J. Su, H. Y. Yeh, J. L. Hsiao, and S. H. Hsiao, eds.) Department of Botany, National Taiwan University. Taipei, Taiwan. 1144 pp.

Yu, B. 2010. Studies on effects of duckweed on removal of nitrogen and phosphorus from polluted water bodies. Master Thesis. Institute of Plant Nutrition, Yangzhou University. Yangzhou, China. 73 pp. (in Chinese with English abstract)

Zhou, Y., A. Stepanenko, O. Kishchenko, J. Xu, and N. Borisjuk. 2023. Duckweeds for phytoremediation of polluted water. Plants 12:589. doi:10.3390/plants12030589

Growth Evaluation of Dotted Duckmeat (*Landoltia punctata*) Cultivated in Swine Wastewater

Bo-Wen Lin[1], Shu-Chen Chang[2,*], Yahn-Chir Lee[3], Chi-Ling Chen[4], and Hsien-Tzung Shih[5]

Abstract

Lin, B. W., S. C. Chang, Y. C. Lee, C. L. Chen, and H. T. Shih. 2023. Growth evaluation of dotted duckmeat (*Landoltia punctata*) cultivated in swine wastewater. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):317–332.

Duckweed, a plant rich in protein contents, is commonly used for wastewater purification in various industries, livestock farming, food processing, and domestic applications because it can effectively remove nitrogen and phosphorus from water bodies. In this study, we evaluated the growth performance of dotted duckmeat (*Landoltia punctata*) cultivated in swine wastewater (SW-I and SW-II) and investigated its growth rate in a potential coastal fish farm setting. In the tolerance assessment, dotted duckmeat was cultivated in SW-I diluted with different volumes of reverse osmosis (RO) water, resulting in a 27−52% reduction in SW-I electrical conductivity (EC) and an increase in pH to 9.1–9.9 after one week. SW-I at 40× dilution in RO water significantly promoted the growth of dotted duckmeat, by increasing its fresh weight by 1.7 times. When local groundwater with an EC value of 1,696 $\mu S\ cm^{-1}$ was used to dilute SW-II into different volumes for cultivation experiments, it was predicted that the best fresh weight would be achieved at 70.6 times the volume of SW-II. Moreover, at 109.9 times the volume of SW-II, the healthy leaf area percentage reached 92.5%, comparable to dotted duckmeat cultivated in pure groundwater. When different quantities of dotted duckmeat were introduced into drainage baskets in a coastal fish farm, the best growth performance was observed when 30% of the initial growth area was added during cultivation period II, with a growth rate reaching 2.8 $mg\ cm^{-2}\ d^{-1}$ within 1 wk, especially in periods characterized by higher daily mean temperatures and lower daily mean wind speeds. These results provide valuable insights into the future commercial production of dotted duckmeat, with potential applications in animal feed and biofuel production.

Key words: Duckweed, Circular agriculture, Bioremediation, Alternative proteins.

Received: July 28, 2023; Accepted: October 2, 2023.
* Corresponding author, e-mail: scchang@tari.gov.tw
1 Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
2 Associate Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
3 Assistant Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
4 Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
5 Research Fellow and Division Director, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):333–342 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0004

研究報告

探討基因轉殖水稻稻稈殘體對土壤微生物相的影響

關政平 [1]　江瑩娟 [2]　蕭崇仁 [2]　曾清山 [1,*]

摘要

關政平、江瑩娟、蕭崇仁、曾清山。2023。探討基因轉殖水稻稻稈殘體對土壤微生物相的影響。台灣農業研究 72(4):333–342。

為瞭解過量表達植酸酵素之轉殖水稻 (AAN) 稻稈殘體掩埋土中後，對土壤微生物相之影響，本研究進行為期 1 年的監測，追蹤掩埋期間土壤微生物相的變化。結果顯示稻稈殘體經 180 d 掩埋，對照品種非轉殖 ‘TNG 67’ (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica* cv. Tainung 67; ‘TNG 67’) 水稻掩埋土壤中的總細菌數，顯著高於 AAN 轉殖系，隨著時間增加，兩者之總細菌數皆有下降趨勢。土壤總真菌數隨著掩埋時間而變化較大，雖然皆以 AAN 轉殖系較高，但 120 d 後與 ‘TNG 67’ 相較兩者差異不顯著，且 AAN 轉殖系的總真菌數在 360 d 時有較明顯之下降。土壤放射線菌數方面，‘TNG 67’ 對照水稻隨著時間緩慢上升，AAN 轉殖系則在 120 d 後菌數才明顯增加，且兩者皆在 300 d 之後開始下降，至 360 d 時二者無顯著差異。使用變性梯度膠體電泳分析，結果顯示 AAN 轉殖系周邊土壤菌相數量增加，在 180 d 時 AAN 轉殖系與 ‘TNG 67’ 水稻之細菌菌群相似度高同屬一群；在 360 d 時 AAN 轉殖系與 ‘TNG 67’ 之細菌菌群亦顯示同屬一群。綜合平板計算法與變性梯度膠體電泳模式之結果，推測在殘體掩埋初期，AAN 轉殖系與 ‘TNG 67’ 之殘體，在土壤中之微生物數量與細菌多樣性方面有較高之差異性，但這些差異在掩埋達 360 d 後逐漸減少並趨向一致。

關鍵詞：水稻、基因轉殖作物、土壤微生物、稻稈。

前言

自 1996 年基因轉殖作物商業化種植以來，隨著轉殖技術日漸成熟，不論作物種類、栽培面積及種植國家皆逐年增加，然而各界對於轉殖作物與其產物在人畜食用安全性、基因污染及其他層面的生態環境安全問題仍存有疑慮，亟需在產業化生產前，進行相關的科學評估與安全研究，才能將轉殖作物對生態環境可能造成的風險降至最低 (Chandler & Dunwell 2008)。水稻是世界上最重要的糧食作物之一，提供全球人類 23% 的糧食供給 (Fischer *et al*. 2000)。利用基因轉殖技術培育而成的轉殖水稻逐漸增加，已經有許多基因成功的轉入水稻品種中，如抗病蟲害，抗病毒、抗除草劑、耐旱及耐鹽等特性 (Hu *et al*. 2006; Kumar *et al*. 2008)，為糧食生產提供更多元的選擇與保障。

土壤微生物是土壤重要組成成分之一，參與有機質分解、固氮及硝化等作用，在養分循環中扮演極重要的角色。因此，維持土壤微生物群落組成的多樣性，有助於維持土壤團粒結構，並對環境生態系統有正面影響。但土壤微生物群落易受到氣候、環境與耕作模式及農業化學藥品使用的影響，甚至栽培作物之種類都可能造成土壤微生物相組成的改變 (Castaldini *et al*. 2005; Liu *et al*. 2006)。基因轉殖作物的外源基因與基因表達產物，可通過根系分泌物或其殘體進入土壤生態系統，其中根系釋放碳化合物數量與種類的不同，將導致微生物群落

投稿日期：2023 年 7 月 25 日；接受日期：2023 年 10 月 6 日。
[*] 通訊作者：samtseng@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組副研究員。台灣 台中市。
[2] 農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組計畫助理。台灣 台中市。

在利用與使用效率的不同 (Fang *et al*. 2005)。過去分析抗輪點病毒 (papaya ringspot virus; PRSV) 轉殖木瓜與同源性非轉殖木瓜種植之土壤微生物相的研究，結果顯示溶磷細菌、蛋白分解菌、總細菌及真菌族群數目，隨種植時間而互有消長 (Liu *et al*. 2006)。

土壤環境中僅有約 20% 的細菌能被分離並鑑定，使用一般或選擇性培養基鑑別菌種，無法精確的模擬特定菌種在原始環境中增生所需的養分，因此傳統的培養方法往往無法得到正確的環境菌相 (Wayne *et al*. 1987)。隨著分子生物技術的快速進步，有更多土壤微生物分析的方法可以選擇，提供我們對原始土壤環境中菌種的組成有更深入的瞭解 (Muyzer *et al*. 1993)。16S rDNA 為原核生物轉譯出核糖體的一段基因，可作細菌類緣演化關係的標記物質 (Fox *et al*. 1980)，而且這段基因在原核生物間具有高度的保留性，在菌種間亦具有差異性 (Woese 1987)，利用這些差異可用來鑑定不同的菌種。聚合酶連鎖反應暨變性梯度膠體電泳分析 (polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis; PCR-DGGE) 是以 16S rDNA 在菌種間具有差異現象為基礎所發展出的方法，為檢測片段 DNA 內單一鹼基改變之電泳法，其準確度可達到 98% 以上，其中鑑別突變株的能力遠比直接定序來的高且敏銳 (Trülzsch *et al*. 1999)，此方法在結合統計分析法後成為快速分析樣本微生物組成變化的方法。DGGE 圖譜上不同條帶分別代表不同菌種 (Muyzer *et al*. 1993)，條帶的亮度與 DNA 濃度具有正比關係，條帶的粗細則可代表菌種含量的多寡，具有半定量與半定性的作用，因此 DGGE 可作為評估微生物菌相組成的方法。目前 DGGE 技術在微生物領域上的應用，包括分析微生物族群組成的多樣性 (Nübel *et al*. 1999)、族群組成之動態研究 (Watanabe *et al*. 1998) 及協助分離環境中不易培養的菌種與微生物群落中優勢菌種之相關性等 (Palys *et al*. 1997)。利用此一技術分析環境中的微生物種類，不僅能克服傳統菌種培養技術無法培養環境中大部分微生物的缺點，更縮短了研究時間，因而此法被廣泛運用在分析環境微生物菌相與生態的研究上。

為瞭解轉殖水稻其遺傳物質在環境中的殘存性，是否對土壤微生物造成影響，本研究利用平板計數法與 PCR-DGGE，分析轉殖植酸酵素水稻 (AAN) 與其未轉殖「台農 67 號」(‘TNG 67’) 水稻殘體，於田間一年期間自然分解情況下，對土壤中微生物群相之影響，並以此作為轉殖植酸酵素水稻對非目標微生物影響之安全性評估判斷依據。

材料與方法

水稻根圈土壤採樣

本試驗依據農業部農業試驗所『基因轉殖植物田間試驗作業管理規範』執行。所使用之材料係由中央研究院余淑美研究員提供之轉殖植酸酵素水稻 (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*; AAN)，以及其非基因轉殖水稻受體品種「台農 67 號」(*O. sativa* L. ssp. *japonica* cv. Tainung 67; ‘TNG 67’) (Hong *et al*. 2004)。AAN 轉殖系與其非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻除了外源基因外，其他的遺傳背景幾乎完全一致。取 AAN 轉殖系與非轉殖 ‘TNG 67’ 葉片，以 45℃烘乾至恆重，秤取 18 g 乾重，裝入 10 × 15 cm 尼龍網袋 (1 mm 孔徑) 後束口，分別埋入土中 10 cm 深。田間配置採完全隨機設計共 5 重複。取樣位置包含 AAN 轉殖系、未轉殖 ‘TNG 67’ 以及沒有植物根系穿越的當作對照用土壤 (blank soil)。試驗材料埋入時間為 1 年 (掩埋時間為 2020 年 10 月至 2021 年 10 月)，取樣時間為埋入土中後每 2 個月取樣 1 次，總計 6 個取樣時間。取樣位置為採集尼龍網袋周邊土壤 100 g，以粗篩網過濾去除植物殘體與碎石後於室溫下陰乾備用，作為後續微生物群落檢測之用。

土壤微生物群落分析 ── 平板計數法

秤取 0.5 g 土壤樣品，經室溫風乾後低溫保存 (Wei *et al*. 2006)，加入 49.5 mL 之 0.2% 洋菜培養基，室溫下震盪 30 min 進行土壤微生物萃取，待土壤顆粒自然沉降後，取上層液並以 0.85% NaCl 進行序列稀釋。以選擇性培養基平板計數法偵測總細菌菌數 (total bacteria)、總真菌菌數 (total fungi) 及放線菌菌數 (Actinomycete)。細菌與真菌之選擇性

培養基配方如 Mislivec *et al*. (1992) 所述；放線菌選擇性培養基配方為 Kenknight and Munaier's medium，並添加抗生素 streptomycin (0.025 mg mL^{-1}) 與抗真菌劑 cycloheximide (50 µg mL^{-1}) 以分別抑制細菌與真菌生長；上述不同之選擇性培養基中分別加入 100 µL 之 10^3 稀釋液，以 L 型玻璃棒將菌液塗布均勻，每種選擇性培養基試驗進行 3 重複。所有培養基在配製完成後皆以滅菌釜 121℃、1.2 kg cm^{-2}、15 min 條件滅菌。細菌置於 37℃烘箱培養 3 d (Wu *et al*. 2024)；真菌置於 25–28℃培養 3 d (Wu *et al*. 2024)；放射線菌置於 28–30℃烘箱培養 3 d (Nazari *et al*. 2022)，並逐日觀察記錄上述微生物族群菌落數。

土壤 DNA 萃取

使用 DNeasy® PowerSoil® Kit (MO BIO, QIAGEN, Carlsbad, CA, USA)，取適量土壤加入 PowerBead Tube 中，加入 60 µL Solution C1 上下顛倒混合均勻，再將離心管平放至震盪機上震盪 10 min，離心 10,000× *g*、30 s，取 500 µL 上清液至 2 mL Collection Tube 中，加入 250 µL Solution C2，震盪數秒混合均勻，插入冰上 5 min，離心 10,000× *g*、1 min，取 600 µL 上清液至 2 mL Collection Tube 中，加入 200 µL Solution C3，震盪數秒混合均勻，插入冰上 5 min，離心 10,000× *g*、1 min，取 700 µL 上清液至 2 mL Collection tube 中，加入 1,200 µL Solution C4，震盪數秒混合均勻，取 675 µL 混合液至 Spin Filter，離心 10,000× *g*、1 min，去除上清液 (此步驟重複數次至混合液完全過完 Spin Filter)，加入 500 µL Solution C5 離心 10,000× *g*、30 s，去除上清液再離心 1 次，加入 30 µL diethyl pyrocarbonate (DEPC) water，離心 10,000× *g*、1 min，即可得到萃取之土壤微生物 DNA。

聚合酶連鎖反應 (PCR)

針對細菌之 16S rDNA 基因為依據 (Nübel *et al*. 1999)，使用引子為：968F-GC (5′-CGC-CCGGGGCGCGCCCCGGGCGGGGCGGGGG-CACGGGGGGAACGCGAAGAACCTTAC-3′) 與 1401-R (5′-CGGTGTGTACAAGACCC-3′)，PCR 反應條件為 100 ng DNA、10× buffer 5 µL、2 mM dNTP 5 µL、2.5 mM $MgSO_4$ 2 µL、968GC-F 1 µL、1401-R 1 µL、kinetic outlier detection (KOD) 1 µL (1.0 U µL^{-1}, TOYOBO, Osaka, Japan)，最後以 DEPC water 補至最終體積為 50 µL。PCR 條件如下：95℃、5 min，再以 95℃、30 s，56℃、45 s，72℃、45 s (35 cycle)，再經 72℃、5 min 進行最後延長期 (extension)，最後取 3 µL 之 PCR 產物進行 2% 膠體電泳確認 DNA 產量，之後再進行變性梯度膠體電泳分析。

變性梯度膠體電泳 (DGGE)

變性梯度膠體電泳是以 Bio-Rad 公司 (Hercules, CA, USA) Model 475 Gradient Delivery System 作為製作膠片的設備。配製 6% polyacrylamide 的凝膠 (base pair separation: 300–1,000 bp)，凝膠之中變性梯度為 40–60% (urea formamide) (100% 變性劑含有 7 M urea 與 40% (vol/vol) formamide)。將 PCR 的產物進行定量與固定體積，加入變性梯度膠體中，進行變性梯度膠體電泳。電泳環境為 1× TAE buffer、60℃，電壓為 65 V、15 h，膠片以 SYBR GOLD 染色後利用軟體進行影像分析。

圖譜影像分析

將變性梯度膠體電泳圖影像，利用 Bio-Rad 公司的軟體 Quantity One Version 4.6 進行 DGGE 電泳圖上條帶影像的定位與統計分析。再以 unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) 群聚分析方法，根據相似性係數繪製出親緣樹狀圖。

統計分析方法

基改與非基改水稻處理之土壤微生物相似性利用 SAS EG 統計分析軟體 (version 2006, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)，估算基改與非基改不同土壤微生物族群間的差異性。

結果

本試驗分析不同採樣時間之掩埋水稻土壤樣品，評估 AAN 轉殖系與非轉殖 ‘TNG 67’ 之殘體對土壤微生物造成之短期影響。試驗結果

顯示，AAN 轉殖系與 ‘TNG 67’ 水稻殘體在初期第 0–4 個月，三組處理之土壤可培養總細菌數變化不大，但以 ‘TNG 67’ 較其他兩組為低 (圖 1)，第 6 個月後開始有明顯變化，‘TNG 67’ 的可培養總細菌數顯著高於 AAN 轉殖系；第 10–12 個月隨著時間增加而有下降趨勢。

土壤可培養總真菌數隨著水稻殘體分解時間增加而變化較大，在第 2 個月時 AAN 轉殖系的可培養總真菌數顯著高於非轉殖 ‘TNG 67’ (圖 2)，並隨著時間增加而有上下波動的趨勢；在第 6 個月開始，AAN 轉殖系的可培養總真菌數隨殘體分解時間增加而下降；在第 12 個月時 AAN 轉殖系的可培養總真菌數降至最低。非轉殖 ‘TNG 67’ 與無水稻殘體對照組的變化，在第 4 個月後趨勢一致，皆在第 6 個月達到最高後逐漸下降，在第 10 個月後緩慢上升。土壤可培養放射線菌數隨著 AAN 水稻殘體分解由前期至第 4 個月後菌數逐漸增加上升趨勢，在第 8 個月時達到最高，AAN 轉殖系的可培養放射線菌數顯著高於非轉殖 ‘TNG 67’，於第 10 個月之後開始明顯下降，於第 12 個月時二者無顯著差異 (圖 3)。

土壤 DNA 樣品進行 PCR 放大反應後，經

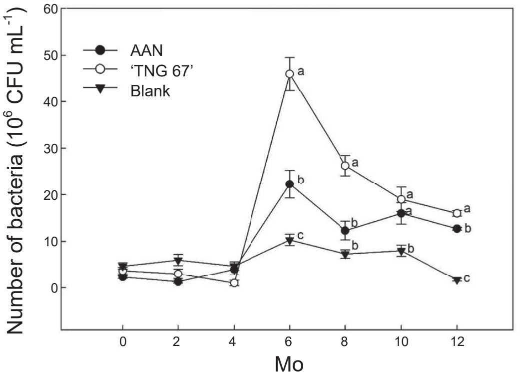

圖 1. 水稻殘體在不同時期的土壤總細菌數。採樣土壤包括 AAN：植酸酵素水稻殘體；‘TNG 67’：非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻殘體；CK：無水稻殘體。

Fig. 1. Total bacterial counts in the soil at different stages of rice straw residues. AAN: transgenic AAN; ‘TNG 67’: non-transgenic ‘TNG 67’; and CK: blank soil. Error bars represent standard error. Values with a different letter are significantly different from each other ($P < 0.05$).

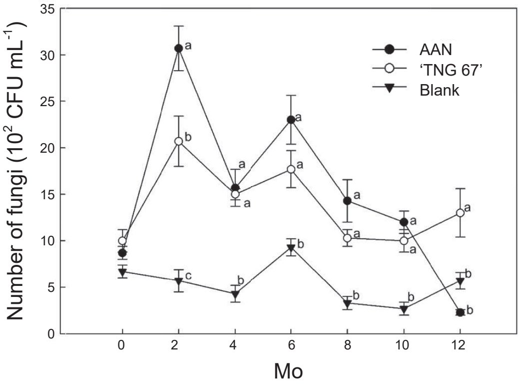

圖 2. 水稻殘體在不同時期的土壤總真菌數。採樣土壤包括 AAN：植酸酵素水稻殘體；‘TNG 67’：非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻殘體；CK：無水稻殘體。

Fig. 2. Total fungal counts in the soil at different stages of rice straw residues. AAN: transgenic AAN; ‘TNG 67’: non-transgenic ‘TNG 67’; and CK: blank soil. Error bars represent standard error. Values with a different letter are significantly different from each other ($P < 0.05$).

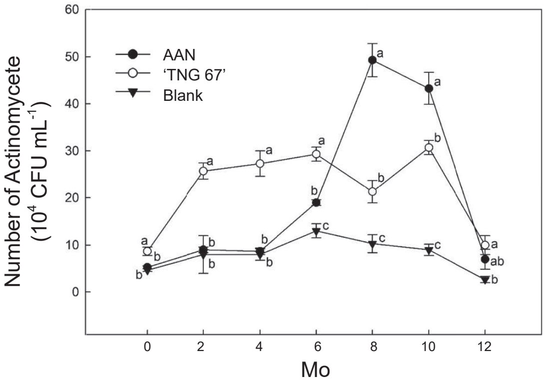

圖 3. 水稻殘體在不同時期的土壤總放射線菌數。採樣土壤包括 AAN：植酸酵素水稻殘體；‘TNG 67’：非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻殘體；CK：無水稻殘體。

Fig. 3. Total actinomycete counts in the soil at different stages of rice straw residues. AAN: transgenic AAN; ‘TNG 67’: non-transgenic ‘TNG 67’; and CK: blank soil. Error bars represent standard error. Values with a different letter are significantly different from each other ($P < 0.05$).

DGGE 之分析結果，顯示如圖 4。尿素 (urea) 與甲醯胺 (formamide) 所組成的變性劑在變性濃度 40–60% 下，膠體濃度 6% polyacrylamide，以垂直變性梯度膠體進行測試。由 DGGE 結果經由 UPGMA 分析，顯示在 180 d

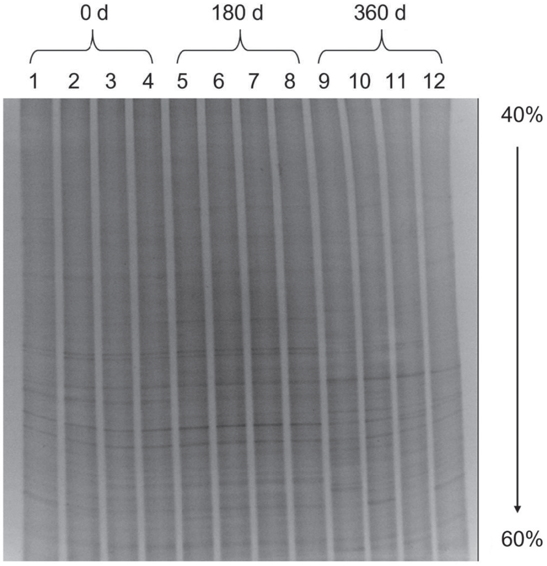

圖 4. 從轉基因 AAN 與 ‘TNG 67’ 稻稈殘體土壤中擴增得到的細菌 16S rDNA 片段的 DGGE 圖。行 1、5、9：‘TNG 67’-1 水稻殘體土樣 (Day 0、Day 180、Day 360)；行 2、6、10：AAN-1 轉殖系殘體土樣 (Day 0、Day 180、Day 360)；行 3、7、11：‘TNG 67’-2 水稻殘體土樣 (Day 0、Day 180、Day 360)；行 4、8、12: AAN-2 轉殖系殘體土樣 (Day 0、Day 180、Day 360)。

Fig. 4. Denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) profiles of bacterial 16S rDNA fragments amplified from soil samples containing transgenic AAN and ‘TNG 67’ rice straw residues. Lane 1, 5, 9: soil of ‘TNG 67’ (Day 0, Day 180, Day 360); Lane 2, 6, 10: soil of AAN line (Day 0, Day 180, Day 360); Lane 3, 7, 11: soil of ‘TNG 67’ (Day 0, Day 180, Day 360); and Lane 4, 8, 12: AAN soil of AAN line (Day 0, Day 180, Day 360).

之AAN轉殖系與非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻細菌群相似同屬一群，相似度達 0.80–0.86，在 360 d 顯示分成 2 個菌群：其中一個菌群顯示非轉殖 ‘TNG 67’ 水稻與 AAN 轉殖系之細菌族群屬同一細菌群，族群相似度達 0.70；另一菌群則顯示 AAN 360 d 與 AAN 0 d 之細菌族群相似度為 0.75 (圖 5)。由以上結果推測，AAN 轉殖系殘體經掩埋處理後對土壤微生物相之影響與 ‘TNG 67’ 水稻相似。

討論

由於稻米生產後殘株作為可利用與可再生物質來源，經常被應用於農業肥料之碳循環再利用。過去農民習慣於稻穀收穫後以燒燬方式來處理稻草，但燃燒時的高溫會破壞表土微生物相，且稻草灰會造成過多碳酸鉀與氧化鈣致土壤酸化與肥力不均情形，而產生的濃煙與粒狀污染物亦會污染空氣。另一種再利用方式則是將收穫後之稻草切碎拌入土中，使稻草回歸農地以增加有機質與礦物質含量，目前已成為處理稻草的常用方式。本試驗藉由稻稈掩埋處理，應用平板計數法與 DGGE 技術觀察一年期間掩埋之植株殘體對周遭土壤微生物種類與數量消長之影響。稻稈之主成分包括纖維素、半纖維素及木質素 (Wu *et al*. 2014; Pan *et al*. 2017)，其中以半纖維素分解率最高，其次為纖維素，分解速率最慢者為木質素 (Gong *et al*. 2018)。透過微生物協同作用，複雜的有機化合物逐漸降解為較小的分子，然後可以提供微生物細胞加以吸收利用 (Eremeeva *et al*. 2001; Pan *et al*. 2010; Wu *et al*. 2014)。本試驗對水稻殘體掩埋之周邊土壤微生物進行 12 個月的監測，藉以瞭解水稻殘體分解與微生物動態變化情形。

本研究結果顯示土壤可培養總菌數包括：總細菌數、總真菌數及放射線菌數隨分解時間增加，而有不同的變化，但 AAN、‘TNG 67’ 及無殘體對照組的變化趨勢大體是一致的，這現象與學者在稻稈或是甘蔗莖葉之試驗中，顯示殘體分解效率主要受到季節因素影響的結論相同 (Fores *et al*. 1988; Ferreira *et al*. 2015)。但是，關於水稻的生理營養，影響到其纖維成分，進而影響稻稈分解的研究，目前仍十分缺乏。稻稈於土壤中分解受多種外在因素影響，例如溫度、濕度及培養時間與土壤微生物消長有關 (Nakajima *et al*. 2016)。稻稈殘體放入土壤後，藉由土壤微生物活性與酶作用，會經歷很長一段複雜分解過程 (Nakajima *et al*. 2016)。本研究顯示，細菌數在第 0–4 個月與第 8–12 個月較低，可能與初期時間不足及低溫環境下微生物生長受抑制所致。細菌數在第 4 至第 8 個月逐漸升高，推測與春、夏二季溫度與充足的降雨促進了稻稈分解有關。真菌數量則顯示在第 0–4 個月與第 4–8 個月間，

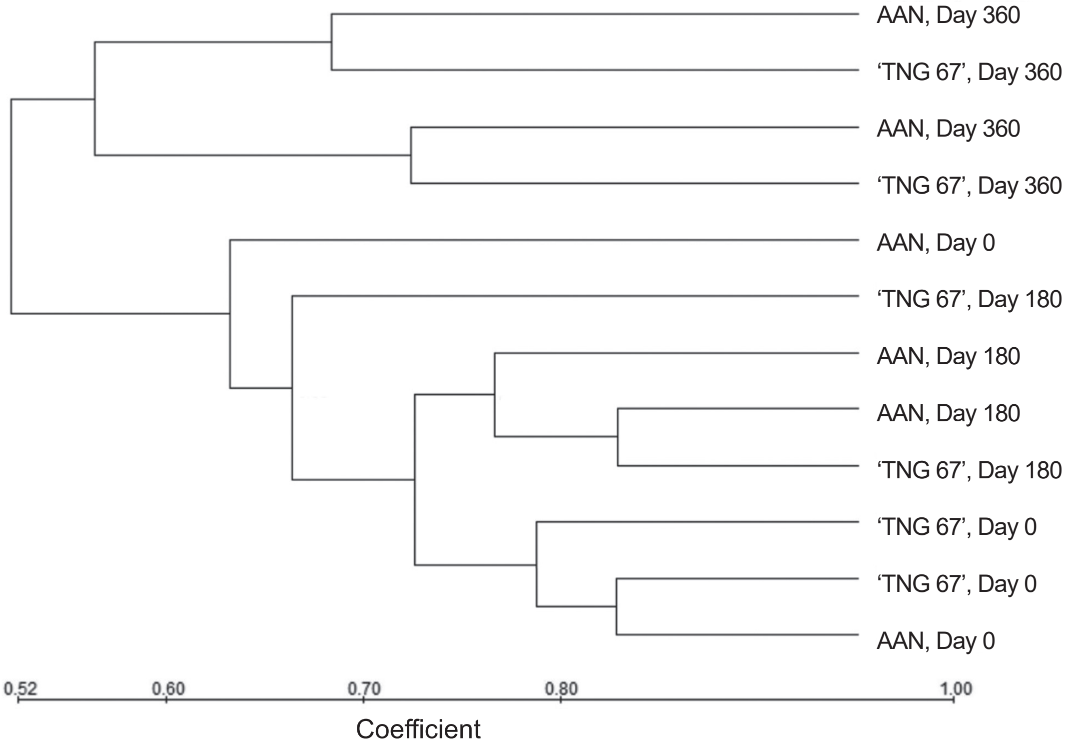

圖 5.　從轉基因 AAN 與 'TNG 67' 稻稈殘體土壤中擴增的 16S rDNA 片段之間的親緣關係樹。

Fig. 5.　Phylogenetic tree depicting the relationship between 16S rDNA fragments amplified from soil samples containing transgenic AAN and 'TNG 67' rice straw residues.

AAN 轉殖系與 'TNG 67' 菌數皆有明顯上升再下降趨勢，隨後並逐漸降低。Ferreira *et al.* (2015) 研究甘蔗莖葉殘體的整體分解，認為殘體分解具有初期反應較快，後期反應趨緩的趨勢。在植物殘體分解研究，Ghidey & Alberts (1993) 認為可能由於一些較易分解物質先被微生物分解並逐漸被消耗，造成植物殘體在土壤中釋放分解物質經歷相對較快，但隨後減慢之過程。綜上這些現象與我們研究數據觀察放線菌在第 6–10 個月，AAN 轉殖系菌數明顯增加，但在第 10 個月之菌群數下降趨勢相似。本試驗同時監測放線菌的生長動態，主要是因為有文獻指出放線菌對於掩埋形成堆肥格外重要，這類具有分解纖維素能力之放線菌例如：嗜熱纖維素降解熱鏈黴菌、鏈黴菌或 *Thermomonospora curvata* 等常存在於乾燥溫暖的土地、高鹽濃度及 pH 值是鹼性的土壤 (Stutzenberger 1972)。本試驗定期觀測真菌、細菌及放線菌這 3 種微生物之消長，由於這類具有纖維素分解能力菌在自然界中無處不在。在適當的條件下，微生物會分解纖維素，因此許多菌株皆能溶解與分解改變木質素纖維素等結構。這類微生物通常藉由分泌一系列細胞外酶表現其代謝能力。本研究之結果顯示雖然真菌、細菌及放線菌在掩埋過程中的作用在各時期菌量多寡不相同，且真菌、細菌及放線菌 3 種菌增幅或減少趨勢亦有些不相同，但自然界的碳氮循環係藉由混合多種微生物同時作用而達成，這也顯示微生物間存在協同作用而達成，例如達成木質纖維素之降解，但每種菌之消長與生長力大不相同 (Kanotra & Mathur 1994)，這與我們觀察總細菌數、總真菌數及放射線菌數在相同時間下，顯示不同消長之變化的結果吻合。

儘管水稻殘體分解容易受季節溫、濕度等理化環境影響而變化，微生物群落的組成與菌

量也會造成差異。稻稈殘體在經半年與一年的掩埋處理，這中間歷經不同季節包括乾季、雨季及溫濕度變化等，皆可能影響土壤微生物之分解能力，Jusoh *et al*. (2013) 提到土壤酸鹼值、溫度及碳氮比等皆可能影響殘體堆肥的效果。本研究顯示 0 d時 'TNG 67' 與 AAN 轉殖系之微生物群落相似度無明顯差異，當達到 180 d時，AAN 轉殖系與 'TNG 67' 微生物群落相似度高，屬於同一菌群 (相似度係數達 0.80–0.86)，亦即在掩埋後期階段，如 360 d時，AAN 轉殖系與 'TNG 67' 之間微生物群落相似度屬與同一分群共 2 菌群皆屬同菌群。AAN 轉殖系與 'TNG 67' 經由 DNA 指紋之 DGGE 電泳分析皆屬於同一分群結果，分成不同菌群雖顯示二菌群之間具有些微歧異度，但推測這可能與植物殘體之土壤掩埋深度、與土壤接觸表面積及採樣不均有關。

本研究使用 PCR-DGGE 方法分析水稻桿殘體分解後土壤微生物，特點為不需經過培養，可直接由膠體上提供的資訊得知菌種之多樣性 (Muyzer *et al*. 1993)。由本研究之結果顯示，土壤微生物菌群以 V6–V8 區域為目標引子，在變性劑濃度為 40–60% 間可完全分離，並由 DGGE 圖譜中發現，以 AAN 轉殖系周邊土壤與 'TNG 67' 之條帶相似，顯示細菌菌落屬於同一群菌相，亦即不同水稻殘體或遺傳物質對微生物影響程度不大。由平板計數法結果顯示，達 180 d時 'TNG 67' 處理之土壤菌數較 AAN 處理之土壤菌數為高，但達 360 d時菌數趨近相似。DGGE 技術分析殘株掩埋土壤顯示，達 180 d時 AAN 及 'TNG 67' 維持高相似性係數，而達 360 d時 AAN 及 'TNG 67' 二者相似度稍微降低，但仍屬同一個微生物菌群關係。

由結果平板計數可大略得知菌相變化趨勢，雖然僅限知道可培養微生物之情形，但輔助使用 DGGE 分析更能知道大多數菌相實際的變化與增減，由結果顯示添加外源基因產物對土壤微生物活性或土壤中累積的外源基因產物，並未造成微生物菌群組成的改變。綜合上述，平板計數量測微生物結果雖僅限於觀測可培養微生物，且這些以人工培養分離所得的微生物受限於培養基與培養條件所分離的微生物種類與數量僅占估計量的 1% (Amann & Lugdwig 2000; Ghazanfar *et al*. 2010)，但仍適合應用在研究菌落族群消長變化上；相較於 DGGE 結果，由於涵蓋更廣泛的微生物多樣性與種類，對於前後不同時期菌相變化，在比較 180 d與 360 d 時，AAN 與 'TNG 67' 兩者仍具有高相似度關係。整體而言，AAN 轉殖系與 'TNG 67' 在掩埋處理半年與一年之間其土壤微生物菌群大多落在同一群，且相似度高，顯示二者的殘體對土壤微生物族群之組成並未造成明顯差異。

誌謝

本研究承農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組夏奇鋸研究員協助校稿與提供意見得以完成本文，特申謝忱。

引用文獻

Amann, R. and W. Ludwig. 2000. Ribosomal RNA-targeted nucleic acid probes for studies in microbial ecology. FEMS Microbiol. Rev. 24:555–565. doi:10.1111/j.1574-6976.2000.tb00557.x

Castaldini, M., A. Turrini, C. Sbrana, A. Benedetti, M. Marchionni, S. Mocali, A. Fabiani, S. Landi, F. Santomassimo, B. Pietrangeli, M. P. Nuti, N. Miclaus, and M. Giovannetti. 2005. Impact of Bt corn on rhizospheric and soil eubacterial communities and on beneficial mycorrhizal symbiosis in experimental microcosms. Appl. Environ. Microbiol. 71:6719–6729. doi:10.1128/aem.71.11.6719-6729.2005

Chandler, S. and J. M. Dunwell. 2008. Gene flow, risk assessment and the environmental release of transgenic plants. CRC Crit. Rev. Plant Sci. 27:25–49. doi:10.1080/07352680802053916

Eremeeva, M. E., G. A. Dasch, and D. J. Silverman. 2001. Quantitative analyses of variations in the injury of endothelial cells elicited by 11 isolates of Rickettsia rickettsii. Clin. Diagn. Lab. Immunol. 8:788–796. doi:10.1128/CDLI.8.4.788-796.2001

Fang, M., R. J. Kremer, P. P. Motavalli, and G. Davis. 2005. Bacterial diversity in rhizospheres of nontransgenic and transgenic corn. Appl. Environ. Microbiol. 71:4132–4136. doi:10.1128/aem.71.7.4132–4136.2005

Ferreira, D. A., H. C. J. Franco, R. Otto, A. C. Vitti, C. Fortes, C. E. Faroni, A. L. Garside, and P. C. O.

Trivelin. 2015. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil. Glob. Change Biol. Bioenergy 8:859–866. doi:10.1111/gcbb.12292

Fischer, K. S., J. Barton, G. S. Khush, H. Leung, and R. Cantrell. 2000. Collaborations in rice. Science 290:279–280. doi:10.1126/science.290.5490.279

Fores, E., M. Menendez, and F. A. Comin. 1988. Rice straw decomposition in rice-field soil. Plant Soil 109:145–146. doi:10.1007/BF02197596

Fox, G. E., E. Stackebrandt, R. B. Hespell, J. Gibson, J. Maniloff, T. A. Dyer, R. S. Wolfe, W. E. Balch, R. S. Tanner, L. J. Magrum, L. B. Zablen, R. Blakemore, R. Gupta, L. Bonen, B. J. Lewis, D. A. Stahl, K. R. Luehrsen, K. N. Chen, and C. R. Woese. 1980. The phylogeny of prokaryotes. Science 209:457–463. doi:10.1126/science.6771870

Ghazanfar, S., A. Azim, M. A. Ghazanfar, M. I. Anjum, and I. Begum. 2010. Metagenomics and its application in soil microbial community studies: Biotechnological prospects. J. Anim. Plant Sci. 6:611–622.

Ghidey, F. and E. E. Alberts. 1993. Residue type and placement effects on decomposition: Field study and model evaluation. Trans. ASAE 36:1611–1617. doi:10.13031/2013.28502

Gong, Z., N. Deng, Q. Song, and Z. Li. 2018. Decomposing characteristics of maize straw returning in Songnen Plain in long-time located experiment. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 34(8):139–145. (in Chinese with English abstract)

Hong, C. Y., K. J. Cheng, T. H. Tseng, C. S. Wang, L. F. Liu, and S. M. Yu. 2004. Production of two highly active bacterial phytases with broad pH optima in germinated transgenic rice seeds. Transgenic Res. 13:29–39. doi:10.1023/b:trag.0000017158.96765.67

Hu, H., M. Dai, J. Yao, B. Xiao, X. Li, Q. Zhang, and L. Xiong. 2006. Overexpressing a NAM, ATAF, and CUC (NAC) transcription factor enhances drought resistance and salt tolerance in rice. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103:12987–12992. doi:10.1073/pnas.0604882103

Jusoh, M. L. C., L. A. Manaf, and P. A. Latiff. 2013. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. Iran. J. Environ. Health Sci. Eng. 10:17. doi:10.1186/1735-2746-10-17

Kanotra, S. and R. S. Mathur. 1994. Biodegradation of paddy straw with cellulolytic fungi and its application on wheat crop. Bioresour. Technol. 47:185–188. doi:10.1016/0960-8524(94)90120-1

Kumar, V., R. R. Bellinder, D. C. Brainard, R. K. Malik, and R. K. Gupta. 2008. Risks of herbicide-resistant rice in India: A review. Crop Prot. 27:320–329. doi:10.1016/j.cropro.2007.05.017

Liu, B. R., G. M. Jia, J. Chen, and G. Wang. 2006. A review of methods for studying microbial diversity in soils. Pedosphere 16:18–24. doi:10.1016/S1002-0160(06)60021-0

Mislivec, P. B., L. R. Beuchat, and M. A. Cousin. 1992. Yeast and molds. p.239–249. *in*: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 3rd ed. (Vanderzant, C. and D. F. Splittoesser, eds.) American Public Health Assoc. Washington, DC. 1219 pp.

Muyzer, G., E. C. de Waal, and A. G. Uitterlinden. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. Appl. Environ. Microbiol. 59:695–700. doi:10.1128/aem.59.3.695-700.1993

Nakajima, M., W. Cheng, S. Tang, Y. Hori, E. Yaginuma, S. Hattori, S. Hanayama, K. Tawaraya, and X. Xu. 2016. Modeling aerobic decomposition of rice straw during the off-rice season in an Andisol paddy soil in a cold temperate region of Japan: Effects of soil temperature and moisture. Soil Sci. Plant Nutr. 62:90–98. doi:10.1080/00380768.2015.1121116

Nazari, M. T., B. S. Machado, G. Marchezi, L. Crestani, V. Ferrari, L. M. Colla, and J. S. Piccin. 2022. Use of soil actinomycetes for pharmaceutical, food, agricultural, and environmental purposes. 3 Biotech 12:232. doi:10.1007/s13205-022-03307-y

Nübel, U., F. Garcia-Pichel, M. Kühl, and G. Muyzer. 1999. Quantifying microbial diversity: Morphotypes, 16S rRNA genes, and carotenoids of oxygenic phototrophs in microbial mats. Appl. Environ. Microbiol. 65:422–430. doi:10.1128/aem.65.2.422-430.1999

Palys, T., L. K. Nakamura, and F. M. Cohan. 1997. Discovery and classification of ecological diversity in the bacterial world: The role of DNA sequence data. Intl. J. Syst. Bacteriol. 47:1145–1156. doi:10.1099/00207713-47-4-1145

Pan, M., X. Gan, C. Mei, and Y. Liang. 2017. Structural analysis and transformation of biosilica during lignocellulose fractionation of rice straw. J. Mol. Struct. 1127:575–582. doi:10.1016/j.molstruc.2016.08.002

Pan, M., D. Zhou, X. Zhou, and Z. Lian. 2010. Improvement of straw surface characteristics via thermomechanical and chemical treatments. Bioresour. Technol. 101:7930–7934. doi:10.1016/j.biortech.2010.05.022

Stutzenberger, F. J. 1972. Cellulolytic activity of *Thermo-*

monospora curvata: Optimal assay conditions, partial purification, and product of the cellulase. Appl. Microbiol. 24:83–90. doi:10.1128/am.24.1.83-90.1972

Trülzsch, B., K. Krohn, P. Wonerow, and R. Paschke. 1999. DGGE is more sensitive for the detection of somatic point mutations than direct sequencing. BioTechniques 27:266–268. doi:10.2144/99272bm10

Watanabe, K., M. Teramoto, H. Futamata, and S. Harayama. 1998. Molecular detection, isolation, and physiological characterization of functionally dominant phenol-degrading bacteria in activated sludge. Appl. Environ. Microbiol. 64:4396–4402. doi:10.1128/aem.64.11.4396-4402.1998

Wayne, L. G., D. J. Brenner, R. R. Colwell, P. A. D. Grimont, O. Kandler, M. I. Krichevsky, L. H. Moore. W. E. C. Moore, R. G. E. Murray, E. Stackebrandt, M. P. Starr, and H. G. Truper. 1987. Report of the ad hoc committee on reconciliation of approaches to bacterial systematics. Intl. J. Syst. Evol. Microbiol. 37:463–464. doi:10.1099/00207713-37-4-463

Wei, X. D., H. L. Zou, L. M. Chu, B. Liao, C. M. Ye, and C. Y. Lan. 2006. Field released transgenic papaya affects microbial communities and enzyme activities in soil. Plant Soil 285:347–358. doi:10.1007/s11104-006-9020-8

Woese, C. R. 1987. Bacterial evolution. Microbiol. Rev. 51:221–271. doi:10.1128/mr.51.2.221-271.1987

Wu, H., S. Chen, L. Zhu, Y. Xu, J. Li, N. Ling, J. Yuan, C. Xue, and Q. Shen. 2024. Identification of antibiotic resistant bacteria communities and a GeoChip based study of resistome in *Fusarium* wilt diseased and healthy soil. Appl. Soil Ecol. 193:105103. Advance online publication. doi:10.1016/j.apsoil.2023.105103

Wu, W., Z. Wang, Y. Jin, Y. Matsumoto, and H. Zhai. 2014. Effects of LiCl/DMSO dissolution and enzymatic hydrolysis on the chemical composition and lignin structure of rice straw. Biomass Bioenergy 71:357–362. doi:10.1016/j.biombioe.2014.09.021

Exploring the Impact of Transgenic Rice Straw Decomposition on Soil Microbial Composition

Cheng-Ping Kuan[1], Ying-Chuan Chiang[2], Chung-Jen Hsiao[2], and Ching-Shan Tseng[1,*]

Abstract

Kuan, C. P., Y. C. Chiang, C. J. Hsiao, and C. S. Tseng. 2023. Exploring the impact of transgenic rice straw decomposition on soil microbial composition. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):333–342.

To understand the impact of buried rice straw residues of transgenic rice (AAN), which overexpresses phytase enzymes on the soil microbial community, a year-long monitoring experiment was conducted to track changes in the soil microbial composition. The results revealed that after 180 d of burial, the total bacterial count in the non-transgenic control variety 'TNG 67' (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica* cv. Tainung 67; 'TNG 67') was significantly higher than that of the AAN transgenic line, and a declining trend was found along with time for both varieties. The total fungal count in the soil exhibited greater variability along with burial time. Although the AAN transgenic line generally had higher fungal counts, the difference between the two was not statistically significant after 120 d of burial. Notably, the total fungal count in the AAN transgenic line decreased significantly at 360 d. Regarding actinomycetes in the soil, the total count gradually increased over time in the 'TNG 67' control rice. However, an obvious increase was found in the AAN transgenic line after 120 d decomposition. Nevertheless, counts of both varieties began to decline after 300 d, and by 360 d, there was no significant difference between the two. Analysis using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) showed an increased abundance of microbial communities near the AAN transgenic line. However, the bacterial communities derived from the AAN transgenic line and 'TNG 67' rice were found in the same cluster with high similarity at 180 d. The same result was found at 360 d in which the AAN transgenic line and 'TNG 67' bacterial communities exhibited similarity within the same cluster. Integrating the results from plate counting and DGGE analysis suggests that during the early stages of straw burial, there were notable differences in microbial count and bacterial diversity between the AAN transgenic line and the 'TNG 67' control. However, these differences gradually diminished or converged after 360 d of burial.

Key Words: Rice, Transgenic crop, Soil bacterial community, Rice straw.

Received: July 25, 2023; Accepted: October 6, 2023.

[*] Corresponding author, e-mail: samtseng@tari.gov.tw

[1] Associate Research Fellows, Crop Genetic Resources and Biotechnology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

[2] Project Assistances, Crop Genetic Resources and Biotechnology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):343–358 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0005

研究報告

台灣慣行與有機農作環境中瓢蟲種類組成差異

董耀仁 [1]　楊婉秀 [2,*]　許北辰 [1,*]　李奇峰 [3]　曾美容 [4]　張仁育 [5]　陳琦玲 [6]　石憲宗 [7]

摘要

董耀仁、楊婉秀、許北辰、李奇峰、曾美容、張仁育、陳琦玲、石憲宗。2023。台灣慣行與有機農作環境中瓢蟲種類組成差異。台灣農業研究 72(4):343–358。

本研究呈現 2020–2022 年於麻豆文旦園等 11 個農業樣區，以黃色黏蟲紙調查不同農耕田區瓢蟲科 (Coccinellidae) 種類之結果。總計調查分別隸屬於 8 個亞科、11 族、32 屬之 68 種瓢蟲，其中以瓢蟲亞科 (Coccinellinae) 瓢蟲族 (Coccinellini) 有 26 種瓢蟲物種數量最多。六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781))、變斑隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal, 1808))、黃瓢蟲 (*Illeis koebelei* Timberlake, 1943)、龜紋瓢蟲 (*Propylea japonica* (Thunberg, 1781)) 及台南方瓢蟲 (*Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta, 1929)) 等 5 種瓢蟲於 11 個農業樣區中均有發現。水稻不同農耕田區之主要優勢瓢蟲為橙瓢蟲 (*Micraspis discolor* (Fabricius, 1798)) 與六條瓢蟲；果園不同農耕田區主要優勢瓢蟲分別為變斑隱勢瓢蟲、台南方瓢蟲、六條瓢蟲及中黑小瓢蟲 (*Scymnus centralis* Kamiya, 1965)。有機農耕果園較慣行農耕果園擁有較高的瓢蟲物種數與數量；水稻不同農耕田區，瓢蟲發生種類與數量差異不一致。於調查的 11 個農業樣區中，有 9 個有機農耕田區其瓢蟲多樣性較慣行農耕田區高。本研究結果提供各樣區的瓢蟲種類與最優勢的瓢蟲資訊，可供當地制定作物害蟲生物防治管理策略時參考。其中，台南方瓢蟲在所有農業樣區中都有分布，且同時是多個農業樣區中的優勢瓢蟲，其害蟲生物防治潛力值得進一步研究。

關鍵詞：瓢蟲、農業樣區、慣行農耕、有機農耕、長期生態研究。

前言

瓢蟲 (英文俗名為 ladybird、ladybug 或 lady beetle) 為鞘翅目 (Coleoptera)、瓢蟲科 (Coccinellidae) 的昆蟲，全世界約有 6,000 種，依其食性可區分為捕食性、植食性及菌食性 (Seago *et al*. 2011; Patil & Gaikwad 2019)。往昔研究顯示在自然界中 90% 的瓢蟲種類為捕食性，可捕食植物重要害蟲，包括蟎類、蚜蟲、薊馬、介殼蟲、木蝨、飛蝨、葉蟬及鱗翅目的卵與初齡幼蟲等，具調節其族群發展的功能，故被視為益蟲，屬於作物害蟲整合管理計畫措施的重要防治資材之一 (Symondson *et al*. 2002; Giorgi *et al*. 2009; Megha *et al*. 2015; Kundoo & Khan 2017; Shanker *et al*. 2018; Pervez *et al*. 2020)。1996 年芬蘭將七星瓢蟲 (*Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758)) 列為國蟲 (national insect)，色彩繽紛的瓢蟲也是芬蘭有機產品常見的標誌 (https://finland.fi/life-society/iconic-finnish-nature-symbols-stand-out/)，可見捕食性瓢蟲的重要地位。

瓢蟲受重視的原因，不僅因為牠們常被當作生物防治天敵，還因為牠們的取食多樣性與

投稿日期：2023 年 8 月 2 日；接受日期：2023 年 11 月 7 日。
* 通訊作者：whyang@tari.gov.tw, bchen@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所應用動物組副研究員。台灣 台中市。
[2] 農業部農業試驗所應用動物組助理研究員。台灣 台中市。
[3] 農業部農業試驗所應用動物組聘用研究員。台灣 台中市。
[4] 農業部農業試驗所應用動物組計畫助理。台灣 台中市。
[5] 農業部農業試驗所農業化學組助理研究員。台灣 台中市。
[6] 農業部農業試驗所農業化學組研究員。台灣 台中市。
[7] 農業部農業試驗所應用動物組研究員兼組長。台灣 台中市。

適應不同棲地，足以反映當地氣候環境與害蟲發生狀況，使瓢蟲被公認可作為環境的生物指標；瓢蟲極易遭受人類農業操作行為影響，如田區噴施殺蟲劑或殺草劑會降低瓢蟲多樣性，田區周圍保存綠籬與開花植物等友善天敵保育措施可增加瓢蟲族群數量 (Iperti 1999; Zahoor *et al*. 2003; Wäckers & van Rijn 2012)。

光復後，台灣有數篇關於瓢蟲種類調查報告或彙整資料，例如：Chang (1956) 在中部與南部調查蔗田與果園並整理日人標本，共記錄 22 種瓢蟲，Tao & Yao (1972) 確認 16 種捕食蚜蟲的瓢蟲種類，Hsu *et al*. (2022) 調查嘉義與雲林的水稻田瓢蟲共記錄 12 種；台灣農作物害蟲天敵名錄則記錄 25 屬 39 種瓢蟲 (Chen *et al*. 2009)，Lin & Yu (2021) 在其所著瓢蟲圖鑑中指出台灣有 236 種瓢蟲，於台灣物種名錄中則記載 65 屬 240 種瓢蟲 (Chung & Shao 2022)。

為釐清台灣農業生態系的瓢蟲種類，本研究在 2020–2022 年間，於台南麻豆文旦園、苗栗西湖文旦園、花蓮瑞穗文旦園、新竹峨眉桶柑園、高雄燕巢印度棗園、台東卑南番荔枝園、南投埔里百香果園、台東池上水稻田、花蓮富里與玉里水稻田，以及苗栗苑裡水稻田等 11 處農業長期生態樣區，以黃色黏蟲紙調查各樣區之瓢蟲種類與族群變化，釐清台灣農業生態系統不同農耕措施之瓢蟲組成差異程度，配合未來長期持續調查與系統化的分析，期為我國建立可反映不同農業環境與其各類農耕措施的指標性瓢蟲種類。

材料與方法

本研究調查之有機農耕田區，係依有機農業促進法第一章第三條規定：『三、有機農業：指基於生態平衡及養分循環原理，不施用化學肥料及化學農藥，不使用基因改造生物及其產品，進行農作、森林、水產、畜牧等農產品生產之農業。』慣行農耕田區則指農友施用化學肥料與噴施化學農藥以進行作物與病蟲害管理。

2020–2022 年間調查包括台南麻豆文旦園等 11 處農業樣區，各樣區名稱與其衛星定位資訊詳列於表 1。所有監測樣站以黃色黏蟲紙進行瓢蟲調查，調查頻度 (表 1) 如下：

水稻於第一期作與第二期作之分蘗期前後進行調查，第一期作約於 4 月分，第二期作約於 9–10 月分，調查之農耕田區類型分為慣行與有機，每類型田區分為 4 小區，每小區面積為 0.1–0.4 ha，放置 4 張黃色黏蟲紙，設置方法如同果樹樣區。各期作調查 2 wk，每次黏蟲紙置放 1 wk，若遇豪大雨或高溫影響昆蟲流失，隨即更新，調查時段仍需足 2 wk。果樹依生育期於開花期、小果期、中果期及採收期分別進行調查，每年調查 4 次。黃色黏蟲紙每次懸掛為期 2 wk，連續調查 2 次。慣行栽培區與有機栽培區之 4 個小區，各小區逢機選擇 4 株作物，每株設置 1 張黃色黏蟲紙。設置方法為使用黑色格網 (格網長寬：36 cm × 28 cm) + 黃色黏蟲紙，綁在距地基部 1.2–1.3 m 高的主幹上 (圖 1)，或吊掛於樹枝上、或直接在果樹下方架設竹竿。回收時在田間將黃色黏蟲紙覆蓋保鮮膜，記錄瓢蟲的數量。上述資材均購自振詠興業 (台灣台中市)。

瓢蟲數量，先將每個樣區中同年採樣的瓢蟲數量加總 (Annual cumulative number)，並以 mean ± *SE* 表示。各樣區之間的年度總量以 *t*-test 分析其差異顯著性，包括各農業樣區中，最優勢瓢蟲個體數量、瓢蟲種類數量、以及瓢蟲總個體數量在慣行與有機農耕田區間的差異。各農業樣區瓢蟲的生物多樣性指數則選用 Chao 1 與 Shannon-Weaver (Kim *et al*. 2017)。為避免採樣不足在調查上呈現偏差，Chao 1 為利用已採得多個樣本內之物種分布情形，預測該區充分採樣可能的物種豐度，其比值愈高，待發現的物種越多，估計值也越大；Shannon-Weaver 多樣性指標同時考量物種數和物種均勻度，愈豐富均勻的群集，指標數值愈高，亦具有較高的多樣性。上述 2 項多樣性指數以 PAST 4.13 (Hammer *et al*. 2001) 軟體進行計算，各樣區之多樣性指數以 *t*-test 分析其差異顯著性。統計分析均以 Microsoft Excel 軟體進行操作。

表 1. 各調查樣區作物、位置與時程。

Table 1. Crops, location and survey period of each monitoring station.

Locality	Crop	Code[z]	Farming type	Coordinate	Cultivation process (time of survey) 1	2	3	4
Miaoli County, Yuanli Township	Rice	YR	Organic	24.380353N, 120.705621E 24.380519N, 120.705430E 24.380631N, 120.705227E 24.381051N, 120.704417E	Maximum tillering stage	Maximum tillering stage	Paddy drying period	Paddy drying period
			Conventional	24.378230N, 120.696870E 24.377880N, 120.697330E 24.377990N, 120.697540E 24.378403N, 120.697230E	(April)	(September)	(May to June)	(October to November)
Miaoli County, Xihu Township	Pomelo	XP	Organic	24.532812N, 120.779784E 24.533458N, 120.779078E 24.547711N, 120.771362E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period
			Conventional	24.541624N, 120.783180E 24.541621N, 120.783404E 24.548906N, 120.765511E	(April)	(June)	(July)	(August)
Hsinchu County, Emei Township	Tankan	ET	Organic	24.689152N, 121.035055E 24.689047N, 121.035358E 24.688595N, 121.035365E 24.688801N, 121.034907E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period
			Conventional	24.686521N, 121.011614E 24.685424N, 121.011129E 24.687309N, 121.010011E 24.683930N, 121.013255E	(April)	(June)	(August)	(December)
Nantou County, Puli Township	Passion fruit	PP	Organic	23.987698N, 120.951547E 23.987817N, 120.951244E 23.903076N, 120.961061E 23.902105N, 120.961285E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period
			Conventional	24.043155N, 120.928164E 24.043165N, 120.928537E 23.902857N, 120.960905E 23.903362N, 120.961170E	(April)	(June)	(August)	(October)
Tainan City, Madou District	Pomelo	MP	Organic	23.144716N, 120.230993E 23.150968N, 120.226392E 23.202122N, 120.247573E 23.194814N, 120.247224E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period

表 1. 各調查樣區作物、位置與時程。(續)

Table 1. Crops, location and survey period of each monitoring station. (continued)

Locality	Crop	Code[z]	Farming type	Coordinate	Cultivation process (time of survey)			
					1	2	3	4
			Conventional	23.145256N, 120.230738E 23.151961N, 120.233641E 23.202121N, 120.247239E 23.194912N, 120.246206E	(April)	(June)	(July)	(August)
Kaohsiung City, Yanchao District	Jujube	YJ	Organic	22.771424N, 120.335748E 22.773791N, 120.334799E 22.774300N, 120.334652E 22.780247N, 120.328120E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period
			Conventional	22.770677N, 120.335624E 22.770298N, 120.335828E 22.770458N, 120.335381E 22.780712N, 120.325730E	(September)	(October)	(December)	(January)
Hualien County, Fuli Township	Rice	FR	Organic	23.170712N, 121.264241E	Maximum tillering stage	Maximum tillering stage	Paddy drying period	Paddy drying period
			Conventional	23.172189N, 121.262125E	(April)	(September)	(May to June)	(October to No-vember)
Taitung County, Chishang Township	Rice	CR	Organic	23.092210N, 121.218910E 23.091290N, 121.220460E 23.092060N, 121.220840E	Maximum tillering stage	Maximum tillering stage	Paddy drying period	Paddy drying period
			Conventional	23.096220N, 121.215970E 23.092680N, 121.215540E 23.090540N, 121.209680E 23.098460N, 121.207430E	(April)	(September)	(May to June)	(October to No-vember)
Taitung County, Beinan Township	Sugar-apple	BS	Organic	22.834430N, 121.095480E 22.842780N, 121.094160E 22.849980N, 121.008540E 22.840550N, 121.101320E	Maximum tillering stage	Maximum tillering stage	Paddy drying period	Paddy drying period
			Conventional	22.846180N, 121.087620E 22.848740N, 121.084790E 22.834340N, 121.093290E 22.831110N, 121.090180E	(April)	(September)	(May to June)	(October to No-vember)

表 1. 各調查樣區作物、位置與時程。(續)

Table 1. Crops, location and survey period of each monitoring station. (continued)

					Cultivation process (time of survey)			
Locality	Crop	Code[z]	Farming type	Coordinate	1	2	3	4
Hualien County, Yuli Township, Ceroh Tribe	Rice	YUR	Organic	23.447174N, 121.393555E 23.446947N, 121.393872E 23.449429N, 121.397979E 23.455473N, 121.402310E 23.456656N, 121.381532E	Maximum tillering stage	Maximum tillering stage	Paddy drying period	Paddy drying period
			Conventional	23.450590N, 121.396706E 23.450955N, 121.395676E 23.450296N, 121.400425E 23.449523N, 121.400985E 23.458473N, 121.382067E				
Hualien County, Yuli Township, Olalip Tribe	Pomelo	YP	Organic	23.510089N, 121.390830E 23.511996N, 121.395446E 23.548905N, 121.392892E 23.548541N, 121.396226E	Flowering stage	Young fruit stage	Mid-fruit stage	Harvesting period
			Conventional	23.504307N, 121.393696E 23.508642N, 121.392785E 23.510239N, 121.398667E 23.514154N, 121.394150E	(April)	(June)	(July)	(August)

[z] YR: Yuanli rice; XP: Xihu pomelo; ET: Emei Tankan; PP: Puli passion fruit; MP: Madou pomelo; YJ: Yancho Indian jujube; FR: Fuli rice; CR: Chishang rice; BS: Beinan sugar-apple; YUR: Yuli rice; YP: Yuli pomelo.

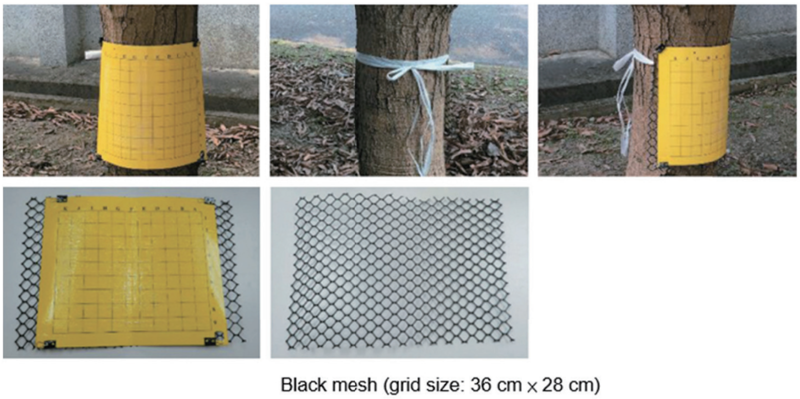

圖 1. 黃色黏蟲紙設置示意圖。
Fig. 1. Illustration of yellow sticky paper setting.

結果

2020–2022 年間於 11 處農業樣區共採獲與鑑定 68 種瓢蟲，分別隸屬於 8 個亞科、11 族及 32 屬，其中以瓢蟲亞科 (Coccinellinae) 瓢蟲族 (Coccinellini) 有 26 種瓢蟲數量最多；其次為小毛瓢蟲亞科 (Scymninae) 小毛瓢蟲族 (Scymnini) 有 19 種瓢蟲；食植瓢蟲亞科 (Epilachninae) 食植瓢蟲族 (Epilachnini) 共調查到 8 種瓢蟲及小艷瓢蟲亞科 (Sticholotidinae) 小艷瓢蟲族 (Sticholotidini) 共調查到 6 種瓢蟲，以上 4 個亞科的物種占全部調查到瓢蟲種類的 86.8% (表 2)。

本研究調查所獲之 68 種瓢蟲，於所有農業樣區均有分布者共計 5 種，包括六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781))、變斑隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal, 1808))、黃瓢蟲 (*Illeis koebelei* Timberlake, 1943)、龜紋瓢蟲 (*Propylea japonica* (Thunberg, 1781)) 及台南方瓢蟲 (*Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta, 1929))，其中黃瓢蟲為食菌性瓢蟲，其餘 4 種均為肉食性瓢蟲；在 68 種瓢蟲中，台灣三色瓢蟲 (*Amida tricolor formosana* Kurisaki, 1920)、黑澤隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus kurosawai* Sasaji, 1968)、太田隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus ohtai* Sasaji, 1968)、杜虹十星瓢蟲 (*Epilachna crassimala* Li, 1961)、五斑廣盾瓢蟲 (*Platynaspidius quinquepunctatus* Miyatake, 1961)、棕色方瓢蟲 (*Sasajiscymnus fuscus* (Yang, 1971))、圓斑方瓢蟲 (*Sasajiscymnus orbiculatus* (Yang, 1971))、弧斑方瓢蟲 (*Sasajiscymnus parenthesis* (Weise, 1923)) 及台灣豔瓢蟲 (*Sticholotis taiwanensis* Miyatake, 1982) 等 9 種瓢蟲為台灣特有種瓢蟲 (Chung & Shao 2022)，其中杜虹十星瓢蟲為植食性瓢蟲，其餘 8 種瓢蟲均為肉食性瓢蟲 (表 2)。

分析各農業樣區中，慣行操作田區與有機操作田區，各自最優勢瓢蟲種類，於水稻樣區中，除苑裡水稻樣區 (慣行與有機田區) 優勢瓢蟲為六條瓢蟲外，其餘水稻樣區 (慣行與有機田區) 優勢瓢蟲均為橙瓢蟲 (*Micraspis discolor* (Fabricius, 1798))。果樹樣區中，主要優勢瓢蟲除變斑隱勢瓢蟲 (西湖有機文旦、埔里百香果)、六條瓢蟲 (麻豆有機文旦) 及中黑小瓢蟲 (*Scymnus centralis* Kamiya, 1965，峨眉有機桶柑) 外，其餘果樹樣區主要優勢瓢蟲均為台南方瓢蟲 (表 3、圖 2)。

比較各樣區不同農耕類型其田區之瓢蟲物種數與數量，於果樹樣區中，有機園區均較慣行園區擁有更多的瓢蟲物種數與數量，玉里有機文旦園、峨眉有機桶柑園及埔里有機百香果園瓢蟲物種數，均顯著高於慣行園區；西湖有機文旦園、麻豆有機文旦園、燕巢有機印度棗園及卑南有機番荔枝園之瓢蟲數量，均顯著高於慣行園區。於水稻樣區中，有機田區之瓢蟲物種數與數量不一定多於慣行田區 (表 4)。

比較各農業樣區其慣行與有機田區間瓢蟲

表 2. 各農業樣區調查所得瓢蟲種類及其分類群。

Table 2. The species of Coccinellidae and taxa surveyed in each monitoring station of Coccinellidae.

Scientific name	Chinese common name	Detection[z]										
		XP	MP	YP	ET	YJ	BS	PP	YUR	FR	CR	YR
Chilocorinae												
Chilocorini												
Chilocorus shirozui Sasaji, 1968	台灣唇瓢蟲						★					
Platynaspidini												
Platynaspidius maculosus (Weise, 1910)	四斑廣盾瓢蟲	★		★	★	★			★	★	★	
P. quinquepunctatus Miyatake, 1961	五斑廣盾瓢蟲	★	★	★	★	★	★		★	★		
Coccidulinae												
Coccidulini												
Cryptolaemus montrouzieri Mulsant, 1853	孟氏隱唇瓢蟲	★	★		★		★		★		★	★
Noviini												
Rodolia cardinalis (Mulsant, 1850)	澳洲瓢蟲	★	★	★		★		★				★
R. okinawensis Miyatake, 1959	小紅瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Coccinellinae												
Coccinellini												
Alloneda osawai Sasaji, 1986	十斑奇瓢蟲	★										
Calvia muiri (Timberlake, 1943)	四斑裸瓢蟲							★				
Cheilomenes sexmaculata (Fabricius, 1781)	六條瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Coccinella septempunctata Linnaeus, 1758	七星瓢蟲							★		★		★
Co. transversalis Fabricius, 1781	波紋瓢蟲		★						★		★	
Co. bowringii Crotch, 1874	八斑盤瓢蟲										★	
Co. inaequalis (Fabricius, 1775)	九星瓢蟲	★										
Co. itoi Sasaji, 1982	四斑黃盤瓢蟲				★							
Harmonia dimidiata (Fabricius, 1781)	小十三星瓢蟲	★			★							
Ha. octomaculata (Fabricius, 1781)	八條瓢蟲		★					★	★	★	★	★
Illeis koebelei Timberlake, 1943	黃瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Lemnia biplagiata (Swartz, 1808)	錨紋瓢蟲	★			★		★	★	★	★	★	★
L. circumusta (Mulsant, 1850)	紅紋瓢蟲	★			★							
L. circumvelata Mulsant, 1850	周緣盤瓢蟲				★							
L. saucia (Mulsant, 1850)	赤星瓢蟲	★	★		★	★			★	★		
Micraspis discolor (Fabricius, 1798)	橙瓢蟲	★	★	★	★	★	★		★	★	★	★
Oenopia formosana (Miyatake, 1965)	六星瓢蟲	★	★		★		★	★				
Oe. sauzeti Mulsant, 1866	黃緣巧瓢蟲				★				★			
Olla v-nigrum (Mulsant, 1866)	楔斑溜瓢蟲		★				★			★	★	
Phrynocaria unicolor (Fabricius, 1792)	紅星盤瓢蟲	★			★							
Propylea japonica (Thunberg, 1781)	龜紋瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

表 **2.** 各農業樣區調查所得瓢蟲種類及其分類群。(續)

Table 2. The species of Coccinellidae and taxa surveyed in each monitoring station of Coccinellidae. (continued)

Scientific name	Chinese common name	Detection[z]										
		XP	MP	YP	ET	YJ	BS	PP	YUR	FR	CR	YR
Synona consanguinea Poorani, Slipinski, Booth, 2008	紅胸黑瓢蟲	★			★							
Epilachninae												
Epilachnini												
Epilachna chinensis (Weise, 1912)	中華食植瓢蟲	★		★								
E. crassimala Li, 1961	杜虹十星瓢蟲	★										
E. maxima (Weise, 1898)	大食植瓢蟲								★			
Henosepilachna boisduvali (Mulsant, 1850)	蘭嶼茄十二星瓢蟲	★										
He. pusillanima (Mulsant, 1850)	茄十二星瓢蟲	★										
He. subfasciata (Weise, 1923)	半帶裂臀瓢蟲						★					
He. vigintioctomaculata (Motschulsky, 1857)	馬鈴薯瓢蟲	★										
He. vigintioctopunctata (Fabricius, 1775)	茄二十八星瓢蟲	★	★	★	★			★	★	★	★	★
Serangiini												
Serangium yasumatsui (Sasaji, 1967)	鐮角瓢蟲				★							
Microweiseinae												
Ortaliini												
Amida tricolor formosana Kurisaki, 1920	台灣三色瓢蟲	★		★	★		★		★		★	
Ortaliinae												
Aspidimerini												
Aspidimerus esakii Sasaji, 1968	四斑隱脛瓢蟲			★			★					
Scymninae												
Cryptogonus horishanus (Ohta, 1929)	台灣隱勢瓢蟲	★										
Cr. kurosawai Sasaji, 1968	黑澤隱勢瓢蟲	★		★								
Cr. ohtai Sasaji, 1968	太田隱勢瓢蟲	★				★						
Cr. orbiculus (Gyllenhal, 1808)	變斑隱勢瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Scymnini												
Axinoscymnus nigripennis Kamiya, 1965	黑翅斧瓢蟲	★	★	★	★	★	★				★	
Nephus tagiapatus (Kamiya, 1961)	中斑彎葉毛瓢蟲		★				★					
Sasajiscymnus fuscus (Yang, 1971)	棕色方瓢蟲				★	★	★		★	★		
Sa. ohtai (Yang et Wu, 1972)	太田方瓢蟲						★					
Sa. orbiculatus (Yang, 1971)	圓斑方瓢蟲			★			★			★		
Sa. parenthesis (Weise, 1923)	弧斑方瓢蟲	★			★	★	★					
Sa. quinquepunctatus (Weise, 1923)	五班方瓢蟲	★		★	★							
Sa. seboshii (Ohta, 1929)	獨斑方瓢蟲						★					
Sa. tainanensis (Ohta, 1929)	台南方瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

表 2. 各農業樣區調查所得瓢蟲種類及其分類群。(續)

Table 2. The species of Coccinellidae and taxa surveyed in each monitoring station of Coccinellidae. (continued)

Scientific name	Chinese common name	Detection[z]										
		XP	MP	YP	ET	YJ	BS	PP	YUR	FR	CR	YR
Scymnus centralis Kamiya, 1965	中黑小瓢蟲			★	★					★		
Sc. fascatus Boheman, 1858	棕色毛瓢蟲	★										
Sc. hoffmanni Weise, 1879	黑襟毛瓢蟲			★			★	★	★	★		★
Sc. nubilus Mulsant, 1850	雲小毛瓢蟲				★							
Sc. ovimaculatus Sasaji, 1968	卵斑小瓢蟲					★						
Sc. posticalis Sicard, 1912	後斑小瓢蟲	★			★		★	★	★	★		★
Sc. quadrillum Motschulsky, 1858	四斑小瓢蟲	★	★		★	★	★			★		
Sc. shirozui Kamiya, 1965	彎葉小瓢蟲						★					
Sc. yangi Yu et Pang, 1993	內囊小瓢蟲	★		★	★	★	★	★	★	★	★	
Stethorus aptus Kapur, 1948	黑囊食蟎瓢蟲			★					★			
Sticholotidinae												
Sticholotidini												
Jauravia limbata Motschulsky, 1858	黃環豔瓢蟲	★	★	★	★	★	★	★				
Nesolotis shirozui Sasaji, 1967	九斑尼豔瓢蟲	★										
Pharoscymnus taoi Sasaji, 1967	台毛豔瓢蟲	★	★									
Sticholotis formosana Weise, 1923	麗豔瓢蟲			★	★		★	★	★		★	
St. hirashimai Sasaji, 1968	褐背艷瓢蟲			★								
St. taiwanensis Miyatake, 1982	台灣豔瓢蟲					★						

[z] XP: Xihu pomelo; MP: Madou pomelo; YP: Yuli pomelo; ET: Emei Tankan; YJ: Yancho Indian jujube; BS: Beinan sugar-apple; PP: Puli passion fruit; YUR: Yuli rice; FR: Fuli rice; CR: Chishang rice; YR: Yuanli rice. ★ Expressed lady beetle detected in this monitoring station.

之多樣性，有機果園除西湖文旦園外，其餘樣區有機果園瓢蟲多樣性指數 Chao1 與 Shannon-Weaver 均高於慣行果園。水稻樣區中，有機田區瓢蟲之多樣性不一定高於慣行田區 (表 5)。

討論

台灣瓢蟲種類從 Chang (1956) 調查之 22 種瓢蟲，迄今已記錄 230 種以上 (Lin & Yu 2021)。但對於台灣農田中的瓢蟲種類，一直未有長期連續的調查資料。本研究在 2020–2022 年間於 11 個農業樣區 (表 1) 的調查，共計發現 68 種瓢蟲，約占現有台灣瓢蟲種類的 28.3%，未來持續調查應還可能發現更多的瓢蟲種類。在 68 種瓢蟲種類中植食性瓢蟲有 8 種，其餘 60 種瓢蟲則為捕食性與菌食性，約占調查到瓢蟲種類之 88.2%，此比例與全世界瓢蟲種類中約 90% 為捕食性瓢蟲相近 (表 2) (Kundoo & Khan 2017)。

Sundareswari *et al.* (2019) 於 2018–2019 年間於印度薩圖爾 (Sattur) 鎮，檸檬與水稻等不同農業田區，以手動捕捉方式，調查作物與田區雜草上的瓢蟲種類，調查結果以瓢蟲亞科的瓢蟲種類與數量最多。本研究調查結果中，瓢蟲亞科的物種最多，共有 26 種瓢蟲；其次為小毛瓢蟲亞科，共有 19 種瓢蟲。本試驗調查的 11 個農業樣區中，以瓢蟲亞科瓢蟲種類最多的樣區，有埔里百香果等 7 個樣區，小毛瓢蟲亞科瓢蟲種類數最多的則有卑南番荔枝等 4 個樣區 (表 2)。瓢蟲亞科瓢蟲的食餌甚為多樣化，包括蚜蟲、木蝨、飛蝨及葉蟬等害蟲。小毛瓢蟲亞科瓢蟲食餌則包括蚜蟲、介

表 3. 各農業樣區中有機與慣行田區優勢瓢蟲。

Table 3. Dominant lady beetle species of organic fields and conventional fields respective in each monitoring station.

Sample area	Farming type	Scientific name	Prey/Reference[z]	Annual mean cumulative number	*t*-test
Xihu pomelo	Organic	*Cryptogonus orbiculus*	Aphids, mealybugs/1, 5, 6	1661.0 ± 122.7	t = -21.99, df = 4 P < 0.05
	Conventional	*Sasajiscymnus tainanensis*	Carnivorous/4	52.0 ± 3.1	
Madou pomelo	Organic	*Cheilomenes sexmaculata*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	248.0 ± 86.7	t = -2.15, df = 6 P = 0.089
	Conventional	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	75.5 ± 24.2	
Yuli pomelo	Organic	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	19.0 ± 9.2	t = -1.42, df = 6 P = 0.2066
	Conventional	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	5.5 ± 2.3	
Emei Tankan	Organic	*Scymnus centralis*	Aphids, armored scales/3	126.5 ± 49.2	t = 0.45, df = 6 P = 0.6784
	Conventional	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	138.5 ± 21.8	
Yancho Indian jujube	Organic	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	122.0 ± 54.8	t = -1.82, df = 6 P < 0.05
	Conventional	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	21.0 ± 9.4	
Beinan sugar-apple	Organic	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	327.3 ± 135.8	t = -0.7, df = 6 P = 0.5117
	Conventional	*Sa. tainanensis*	Carnivorous/4	196.8 ± 128.8	
Puli passion fruit	Organic	*Cry. orbiculus*	Aphids, mealybugs/1, 5, 6	92.0 ± 90.0	t = -0.72, df = 6 P = 0.4972
	Conventional	*Cry. orbiculus*	Aphids, mealybugs/1, 5, 6	34.2 ± 34.2	
Yuli rice	Organic	*Micraspis discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	173.2 ± 51.6	t = -2.05, df = 8 P < 0.05
	Conventional	*M. discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	65.4 ± 10.0	
Fuli rice	Organic	*M. discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	20.0 ± 2.2	t = 3.03, df = 6 P < 0.05
	Conventional	*M. discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	33.3 ± 3.8	
Chishang rice	Organic	*M. discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	66.7 ± 4.3	t = -1.45, df = 5 P = 0.2649
	Conventional	*M. discolor*	Aphids, leafhoppers, *Opisina*, planthoppers/1, 2	47.8 ± 12.4	
Yuanli rice	Organic	*Ch. sexmaculata*	Aphids, mites, psyllids, whiteflies, scales/1, 2	7.3 ± 1.7	t = 0.31, df = 6 P = 0.7676
	Conventional	*Ch. sexmaculata*	Aphids, mites, psyllids, whiteflies, scales/1, 2	8.3 ± 2.8	

[z] Reference: 1. Ahmad (2004); 2. Chen *et al*. (2009); 3. Dai *et al*. (2011); 4. Lin & Yu (2021); 5. Mayadunnage *et al*. (2007); 6. Saengyot & Burikam (2011).

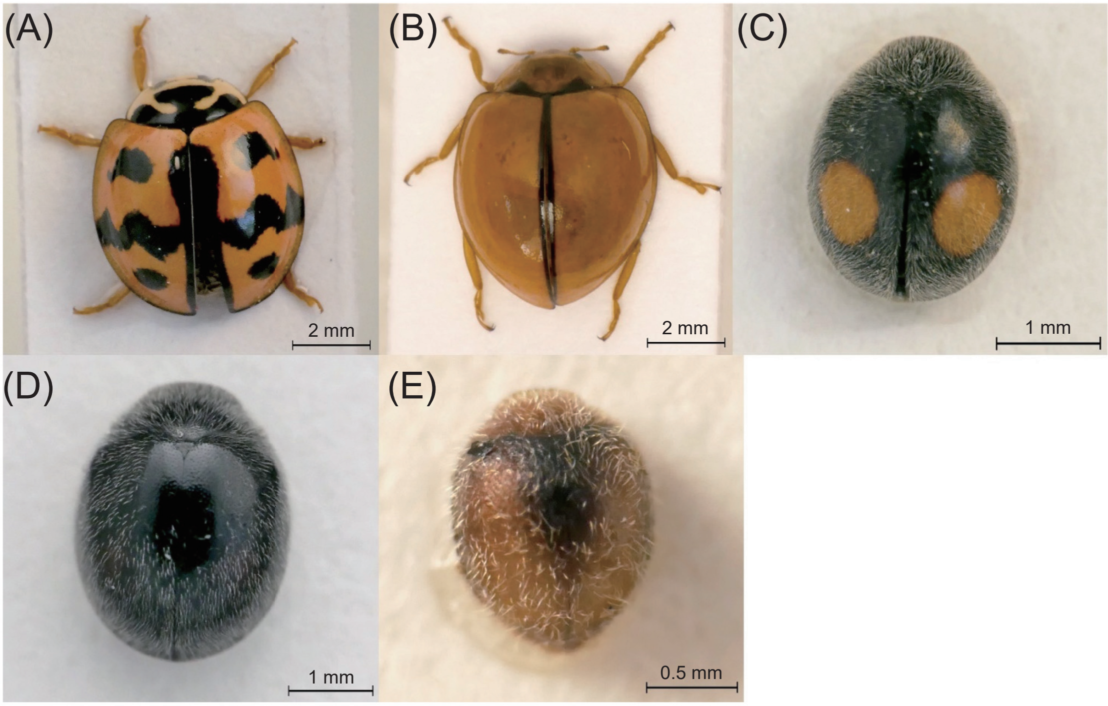

圖 2. 各農業樣區最優勢瓢蟲種類，分別為 (A) 六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781))；(B) 橙瓢蟲 (*Micraspis discolor* (Fabricius, 1798))；(C) 變斑隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal,1808))；(D) 台南方瓢蟲 (*Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta, 1929))；(E) 中黑小瓢蟲 (*Scymnus centralis* Kamiya, 1965)。

Fig. 2. The dominant lady beetles in each agricultural sampling station: (A) *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781); (B) *Micraspis discolor* (Fabricius, 1798); (C) *Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal, 1808); (D) *Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta,1929); and (E) *Scymnus centralis* Kamiya, 1965.

表 4. 各農業樣區瓢蟲種類數與累積調查數量。

Table 4. Lady beetle species number and mean cumulative number in each monitoring station.

	Number of species/Mean (± *SE*)		Annual mean cumulative number (± *SE*)	
Agricultural sample area/crop	CC[z]	OC[y]	CC	OC
Xihu pomelo	19.7 (3.2)	25.0 (1.5)	273.0 (66.7)	2,272.3 (157.2)*
Madou pomelo	9.0 (0.9)	12.0 (1.2)	188.3 (62.1)	485.0 (104.3)*
Yuli pomelo	6.0 (0.4)	10.8 (1.3)*	17.0 (5.7)	71.8 (37.5)
Emei Tankan	16.8 (0.9)	20.5 (1.2)*	214.5 (26.1)	432.5 (54.5)
Yancho Indian jujube	5.8 (1.3)	9.3 (1.1)	31.3 (11.4)	214.5 (60.2)*
Beinan sugar-apple	9.0 (2.5)	14.0 (1.8)	231.0 (145.6)	540.8 (170.4)*
Puli passion fruit	5.8 (0.9)	1.0 (1.7)*	47.4 (39.2)	182.7 (70.7)
Yuli rice	10.4 (1.0)	9.2 (0.6)	173.8 (40.0)	243.4 (49.8)
Fuli rice	11.3 (0.5)	9.8 (0.8)	72.3 (3.4)*	60.3 (1.7)
Chishang rice	7.8 (0.9)	11.7 (0.9)*	113.0 (23.0)	145.0 (39.0)
Yuanli rice	5.8 (0.6)	8.0 (2.2)	18.8 (5.0)	18.5 (2.7)

[z] CC: conventional cultivated.
[y] OC: organic cultivated.
* Asterisk indicated a significant difference for each parameter within each row, with $P < 0.05$ (*t*-test).

表 5.　各農業樣區瓢蟲多樣性指數。
Table 5.　Diversity index of ladybeetles in each monitoring station.

	Diversity index			
	Chao1		Shannon-Weaver	
Agricultural sample area/crop	CC[z]	OC[y]	CC	OC
Xihu pomelo	32.19	49.20	2.429	1.489
Madou pomelo	14.00	18.75	1.486	1.612*
Yuli pomelo	24.35	26.47	2.094	2.152
Emei Tankan	33.99	34.00	1.496	2.132
Yancho Indian jujube	10.25	30.98*	1.164	1.252
Beinan sugar-apple	23.50	30.00	0.737	1.542
Puli passion fruit	14.99	17.50	1.117	1.383*
Yuli rice	29.32	14.25	1.692	1.060
Fuli rice	27.46	16.20	1.843	1.888
Chishang rice	14.00	17.50	1.425	1.492
Yuanli rice	9.33	13.99	1.640	2.122*

[z] CC: conventional cultivated.
[y] OC: organic cultivated.
* Asterisk indicated a significant difference for each parameter within each row, with $P < 0.05$ (*t*-test).

殼蟲及葉蟎等 (Chen *et al*. 2009; Giorgi *et al*. 2009)。上述各類食餌昆蟲，各自均為 11 個不同農業樣區之作物害蟲。影響瓢蟲存在的重要原因為是否有食餌存在，捕食性瓢蟲於自然界中常伴隨上述這些害蟲存在 (Pervez *et al*. 2020)。

本研究調查結果顯示，不同農業樣區所調查到的瓢蟲物種數量均不相同，最多瓢蟲物種數的樣區 (西湖文旦，40 種瓢蟲)，調查到瓢蟲物種數是最少瓢蟲物種數樣區 (苑裡水稻，15 種瓢蟲) 的 2.7 倍，即使同為芸香科果樹的文旦樣區，調查到的瓢蟲物種數亦有差異 (西湖 40 種；麻豆 18 種；玉里 25 種) (表 3)，造成此種差異的原因目前尚未確認。前人研究指出，瓢蟲的分布能力與環境適應性，依種類差異有所不同，影響瓢蟲存在的因子眾多，包括環境中的生物與非生物因子等，不同的作物型態與季節差異，甚至是微氣候均可能是影響瓢蟲棲所偏好的重要因子 (Iperti 1999; Zahoor *et al*. 2003; Pervez *et al*. 2020)。

水稻樣區中，台灣東部地區池上、富里及玉里水稻田，有機農耕或慣行農耕水稻田，數量最多的瓢蟲均為橙瓢蟲；但在西部地區苑裡水稻田，有機農耕或慣行農耕水稻田，數量最多的瓢蟲則為六條瓢蟲 (表 4)。Hsu *et al*. (2022) 以黃色黏蟲紙，2014–2020 年間於台灣西部地區嘉義縣溪口農場與雲林縣雲林分場，調查慣行農耕與永續農耕水稻田之瓢蟲種類與數量，結果亦顯示六條瓢蟲是數量最多之瓢蟲，分別占調查到瓢蟲種類之 83.1% 與 79.2%。比較上述研究結果顯示，台灣東、西部水稻田優勢瓢蟲存在差異性，詳細原因目前未知，仍待進一步研究。果樹樣區中，慣行農耕田區除埔里百香果外，最優勢瓢蟲均為台南方瓢蟲，關於台南方瓢蟲之食性，Lin & Yu (2021) 書中敘明其為肉食性瓢蟲，Dai *et al*. (2011) 調查茶園生態系統中瓢蟲種類，與台南方瓢蟲同為小毛瓢蟲屬內的多種瓢蟲，其食餌主要為茶園蚜蟲類與盾介殼蟲類。有機農耕田區中，最優勢瓢蟲呈現不同差異，於西湖文旦園與埔里百香果園為變斑隱勢瓢蟲，麻豆文旦園為六條瓢蟲，峨眉桶柑園則為中黑小瓢蟲，其餘玉里文旦園、燕巢印度棗園及卑南番荔枝園均為台南方瓢蟲 (表 3)。台南方瓢蟲在所有

農業樣區中均有分布，同時為多個農業樣區優勢瓢蟲 (表 3)，其害蟲生物防治潛力值得進一步研究。瓢蟲具有同生態功能群個體間相互捕食現象 (Intraguild predation)，此現象可能導致生態系統中瓢蟲群落改變 (Gardiner *et al*. 2011)，不同農業樣區中優勢瓢蟲不同，真正原因還需進一步研究確認。

前人研究中，有機農耕一般較慣行農耕，似乎可以維持較高的天敵多樣性，原因來自於有機農耕操作採用較有利於害蟲天敵措施，例如不使用化學合成農藥 (Theiling & Croft 1988; Gabriel *et al*. 2006; Rundlöf & Smith 2006; Winqvist *et al*. 2011; Puech *et al*. 2014)。惟本研究結果，所有樣區中有機農耕田區瓢蟲多樣性指數、物種數及數量，並非均較慣行田區高，真正的影響因子仍待進一步探討 (表 4、表 5)。Bengtsson *et al*. (2005) 分析不同研究報告中，有關有機農業對生物多樣性與物種豐度的影響，其結果顯示有 16% 的研究報告表示有機農業對物種豐富度有負面影響，推測可能原因包括不同昆蟲分類群間對有機農耕操作的反應不同、地景生態環境因素及未考量有機農耕與慣行農耕田區，農友實際採用田間操作方式 (有機農耕經常性去除田區開花雜草 vs. 慣行農耕於田區與四周維持開花植物與綠籬等) 對害蟲天敵的影響 (Bianchi *et al*. 2006; Fahrig *et al*. 2011; Vasseur *et al*. 2013)。

本研究提出了 2020–2022 年於台灣 11 個農業樣區，慣行農耕田與有機農耕田，瓢蟲種類之調查結果，並顯示各樣區瓢蟲種類與最優勢的瓢蟲，這研究為將來的研究人員與農友提供了有用的資訊，可以為當地制定作物害蟲生物防治管理策略，有助於減少農友對化學合成農藥的依賴。本研究未來仍將持續於台灣農業生態樣區瓢蟲調查，藉由累積長期調查資料，除釐清不同農耕操作方式與環境生態因子對瓢蟲群落之影響外，同時可提供政府與農友決策之依據。

誌謝

本研究由農業部科技計畫 (111 農科-4.4.1-農-C4、111 農科-19.2.3-生-W1) 經費支持，特致謝忱。

引用文獻

Ahmad, P. 2004. Predaceous coccinellids in India: Predator-prey catalogue (Coleoptera: Coccinellidae). Orient. Insects 38:27–61. doi:10.1080/00305316.2004.10417373

Bengtsson, J., J. Ahnström, and A. C. Weibull. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. J. Appl. Ecol. 42:261–269. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x

Bianchi, F. J. J. A., C. J. H. Booij, and T. Tscharntke. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proc. R. Soc. B 273:1715–1727. doi:10.1098/rspb.2006.3530

Chang, J. H. 1956. Preliminary studies on coccinellids in Taiwan. J. Agric. For. 5:183–205. (in Chinese with English abstract)

Chen, S. P., C. L. Wang, and C. N. Chen. 2009. A List of Natural Enemies of Insect Pests in Taiwan. Special Issue, No. 137. Taiwan Agricultural Research Institute. Taichung, Taiwan. 465 pp. (in Chinese)

Chung, K. F. and K. T. Shao. 2022. Catalogue of life in Taiwan: Coccinellidae. https://taicol.tw/catalogue?download_email=&rank=34&date=&keyword=&name-select=contain&date-select=gl&page=1&total_page=2&facet=status&value=not-accepted&taxon_group=t0005668&taxon_group_str=Coccinellidae%20%E7%93%A2%E8%9F%B2%E7%A7%91&page=1 (visit on 6/14/2023)

Dai, X., B. Y. Han, and Z. L. Zhang. 2011. A survey on ladybugs species in tea ecosystem in east Guizhou Province (continued). J. Anhui Agric. Univ. 38:135–138. (in Chinese)

Fahrig, L., J. Baudry, L. Brotons, F. G. Burel, T. O. Crist, R. J. Fuller, C. Sirami, G. M. Siriwardena, and J. L. Martin. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecol. Lett. 14:101–112. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x

Gabriel, D., I. Roschewitz, T. Tscharntke, and C. Thies. 2006. Beta diversity at different spatial scales: Plant communities in organic and conventional agriculture. Ecol. Appl. 16:2011–2021. doi:10.1890/1051-0761(2006)016[2011:BDADSS]2.0.CO;2

Gardiner, M. M., M. E. O'Neal, and D. A. Landis. 2011. Intraguild predation and native lady beetle de-

cline. PLoS One 6:e23576. doi:10.1371/journal.pone.0023576

Giorgi, J. A., N. J. Vandenberg, J. V. McHugh, J. A. Forrester, S. A. Ślipiński, K. B. Miller, L. R Shapiro, and M. F. Whiting. 2009. The evolution of food preferences in Coccinellidae. Biol. Control 51:215–231. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.05.019

Hammer, Ø., D. A. T. Harper, and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontol. Electron. 4(1):1–9.

Hsu, P. C., Y. J. Dong, Y. H. Yang, C. L. Chen, and H. T. Shih. 2022. Effects of conventional and sustainable farming practices on lady beetles in paddy fields. J. Taiwan Agric. Res. 71:321–330. doi:10.6156/JTAR.202212_71(4).0004 (in Chinese with English abstract)

Iperti, G. 1999. Biodiversity of predaceous Coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Agric. Ecosyst. Environ. 74:323–342. doi:10.1016/S0167-8809(99)00041-9

Kim, B. R., J. Shin, R. B. Guevarra, J. H. Lee, D. W. Kim, K. H. Seol, J. H. Lee, H. B. Kim, and R. E. Isaacson. 2017. Deciphering diversity indices for a better understanding of microbial community. J. Microbiol. Biotechnol. 27:2089–2093. doi:10.4014/jmb.1709.09027

Kundoo, A. A. and A. A. Khan. 2017. Coccinellids as biological control agents of soft bodied insects: A review. J. Entomol. Zool. Stud. 5:1362–1373.

Lin, Y. X. and G. Y. Yu. 2021. Illustrated Book to Ladybug. 2nd ed. Morning Star. Taichung, Taiwan. 352 pp. (in Chinese)

Mayadunnage, S., H. N. P. Wijayagunasekara, K. S. Hemachandra, and L. Nugaliyadde. 2007. Predatory coccinellids (Coleoptera: Cocinellidae) of vegetable insect pests: A survey in mid country of Sri Lanka. Trop. Agric. Res. 19:69–77.

Megha, R. R., A. S. Vastrad, B. C. Kamanna, and N. S. Kulkarni. 2015. Species complex of coccinellids in different crops at Dharwad region. J. Exp. Zool. India 18:931–935.

Patil, P. B. and S. M. Gaikwad. 2019. Diversity and association of ladybird beetles with the agricultural crops. J. Emerg. Technol. Innov. Res. 6:457–459.

Pervez, A., Omkar, and M. M. Harsur. 2020. Coccinellids on crops: Nature's gift for farmers. p.429–460. *in*: Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century. (Chakravarthy, A. K. ed.) Springer. Singapore. 519 pp.

Puech, C., J. Baudry, A. Joannon, S. Poggi, and S. Aviron. 2014. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? Agric. Ecosyst. Environ. 194:48–57. doi:10.1016/j.agee.2014.05.002

Rundlöf, M. and H. G. Smith. 2006. The effect of organic farming on butterfly diversity depends on landscape context. J. Appl. Ecol. 43:1121–1127. doi:10.1111/j.1365-2664.2006.01233.x

Saengyot, S. and I. Burikam. 2011. Host plants and natural enemies of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Thailand. Thai. J. Agric. Sci. 44:197–205

Seago, A. E., J. A. Giorgi, J. Li, and A. Ślipiński. 2011. Phylogeny, classification and evolution of ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae) based on simultaneous analysis of molecular and morphological data. Mol. Phylogenet. Evol. 60:137–151. doi:10.1016/j.ympev.2011.03.015

Shanker, C., L. Chintagunta, S. Muthusamy, S. Vailla, A. Srinivasan, and G. Katti. 2018. Flora surrounding rice fields as a source of alternative prey for coccinellids feeding on the pests of rice. Eur. J. Entomol. 115:364–371. doi:10.14411/eje.2018.036

Sundareswari, C., D. N. P. Sudarmani, and S. Jaya Durkga. 2019. Population dynamics of ladybird beetle in different agricultural environments of Sattur in relation to weather factors. Int. J. Res. Advent. Technol. 7:218–220.

Symondson, W. O. C., K. D. Sunderland, and M. H. Greenstone. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annu. Rev. Entomol. 47:561–594. doi:10.1146/annurev.ento.47.091201.145240

Tao, J. J. and S. H. Yao. 1972. Natural enemy of aphids. Ann. Taiwan Mus. 15:25–77. doi:10.6548/ATMA.197212_15.0003 (in Chinese)

Theiling, K. M. and B. A. Croft. 1988. Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: A database summary. Agric. Ecosyst. Environ. 21:191–218. doi:10.1016/0167-8809(88)90088-6

Vasseur, C., A. Joannon, S. Aviron, F. Burel, J. M. Meynard, and J. Baudry. 2013. The cropping systems mosaic: How does the hidden heterogeneity of agricultural landscapes drive arthropod populations? Agric. Ecosyst. Environ. 166:3–14. doi:10.1016/j.agee.2012.08.013

Wäckers, F. L. and P. C. J. van Rijn. 2012. Pick and mix: Selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. p.139–165. *in*: Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management. (Gurr, G. M., S. D. Wratten, W. E. Snyder, and D. M. Y. Read, eds.) Wiley-Blackwell. Chichester, UK. 347 pp.

Winqvist, C., J. Bengtsson, T. Aavik, F. Berendse, L. W.

Clement, S. Eggers, C. Fischer, A. Flohre, F. Geiger, J. Liira, T. Pärt, C. Thies, T. Tscharntke, W. W. Weisser, and R. Bommarco. 2011. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. J. Appl. Ecol. 48:570–579. doi:10.1111/j.1365-2664.2010.01950.x

Zahoor, M. K., A. Suhail, J. Iqbal, Z. Zulfaqar, and M. Anwar. 2003. Biodiversity of predaceous coccinellids and their role as bioindicators in an agro-ecosystem. Int. J. Agric. Biol. 5:555–559.

Differences in Lady Beetle Species Composition between Conventional and Organic Farming Environments in Taiwan

Yaw-Jen Dong[1], Wan-Hsiu Yang[2,*], Pei-Chen Hsu[1,*], Chi-Feng Lee[3], Mei-Jung Tseng[4], Jen-Yu Chang[5], Chi-Ling Chen[6], and Hsien-Tzung Shih[7]

Abstract

Dong, Y. J., W. H. Yang, P. C. Hsu, C. F. Lee, M. J. Tseng, J. Y. Chang, C. L. Chen, and H. T. Shih. 2023. Differences in lady beetle species composition between conventional and organic farming environments in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):343–358.

This study presents the results of a survey of different lady beetle species in field areas under various agricultural practices using the yellow sticky paper method in 11 agricultural monitoring stations, including the Madou pomelo fruit orchard, from 2020 to 2022. A total of 68 lady beetle species belonging to 8 subfamilies, 11 tribes, and 32 genera were identified, among which the subfamily Coccinellinae and tribe Coccinellini had the highest number of species, with 26 species of lady beetles. Five species of lady beetle- *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781), *Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal, 1808), *Illeis koebelei* (Timberlake, 1943), *Propylea japonica* (Thunberg, 1781), and *Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta, 1929), had the widest distribution and were found in all 11 agricultural monitoring stations. The dominant lady beetle species in different rice fields were *Micraspis discolor* (Fabricius, 1798) and *Ch. sexmaculata*. In fruit orchards under different farming practices, the dominant lady beetle species were *Cr. orbiculus*, *Sa. tainanensis*, *Ch. sexmaculata*, and *Scymnus centralis* Kamiya, 1965. Organic fruit orchards demonstrated a higher diversity and quantity of lady beetles compared to conventionally cultivated orchards. The occurrence of lady beetle species and their quantities varied in different rice fields. Among the 11 agricultural monitoring stations surveyed, 9 organic monitoring stations had higher lady beetle diversity than conventionally monitoring stations. These findings revealed the species composition of lady beetles and identified the dominant species in various agricultural regions. Notably, *Sa. tainanensis* exhibited the broadest distribution and was the predominant species across most areas. These results will be useful in the development and implementation of future biological control management programs.

Key words: Lady beetle, Agricultural monitoring stations, Conventional cultivated, Organic cultivated, Long term ecological research.

Received: August 2, 2023; Accepted: November 7, 2023.

* Corresponding author, e-mail: whyang@tari.gov.tw, bchen@tari.gov.tw
1 Associate Research Fellows, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
2 Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
3 Contract Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
4 Project Assistant, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
5 Assistant Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
6 Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
7 Research Fellow and Division Director, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 72(4):359–362 (2023)
https://doi.org/10.6156/JTAR.202312_72(4).0006

Short Communication

First Report of *Pseudomonas tolaasii* Causing Bacterial Brown Blotch of White *Hypsizygus marmoreus* in Taiwan

Shiang-Shiuan Yu[1] and Yun-Sheng Lu[2,*]

Abstract

Yu, S. S. and Y. S. Lu. 2023. First report of *Pseudomonas tolaasii* causing bacterial brown blotch of white *Hypsizygus marmoreus* in Taiwan. J. Taiwan Agric. Res. 72(4):359–362.

Hypsizygus marmoreus (Peck) H. E. Bigelow 1976, commonly known as the white elf mushroom (白精靈菇) when cultivated in a sawdust bag, is a commercially important mushroom species in Taiwan. In March 2023, infected samples showing yellow sticky symptoms on the lower parts of stipes were collected from a cultivated farm in Changhua, Taiwan. Bacterial ooze was observed flowing out of the infected stipes when they were suspended in sterile water. The isolated bacterium from the infected fruiting bodies was grown on a nutrient agar (NA) medium, forming circular colonies with smooth surfaces and a milky yellow color. It also exhibited yellow-green fluorescence on King's B medium. To confirm the pathogenicity of the bacterial isolate on white elf mushroom, its suspension in sterile water was sprayed on the surfaces of fruiting bodies, resulting in yellow and water-soaked symptoms within 1–3 d after inoculation. Over time, the symptoms expanded, leading to severe brown blotching and rot of the fruiting body tissues, accompanied by a sticky odor on the 7 d after inoculation. Based on the results of observation of cultural characteristics and pathogenicity tests that conform to Koch's postulates, as well as the result of 16S rRNA sequence analysis, the causal agent of the bacterial brown blotch disease on white *H. marmoreus* was identified as *Pseudomonas tolaasii* Paine. This paper represents the first report of bacterial brown blotch disease on white *H. marmoreus* in Taiwan. In the future, further surveys of the brown blotch disease in different cultivation areas are needed. Additionally, the disease control effect of environmental disinfectants such as hypochlorous acid-containing water will be tested to reduce the economic losses caused by the bacterial disease.

Key words: White *Hypsizygus marmoreus*, Bacterial Brown Blotch, *Pseudomonas tolaasii*.

Mushroom cultivation is of great economic importance in Taiwan; however, it is susceptible to various pathogenic infections that can lead to severe economic losses (Liu *et al*. 2022). Among the commercially cultivated edible mushrooms, white *Hypsizygus marmoreus*, also known as the white elf mushroom (白精靈菇) when grown in sawdust bags, is a popular variety.

In 2023, samples displaying yellow sticky symptoms on the lower parts of stipes were collected from a cultivated field in Changhua, Taiwan. The affected areas exhibited a water-soaked appearance, and some stipes of the mushroom showed brown blotch and rotten areas (Fig. 1A). Upon the infected stipes were suspended in sterile water, bacterial ooze was observed flowing out. The suspension was streaked over nutrient agar (NA) medium (composition: Beef extract 3 g, Peptone 5 g, Agar 15 g, Distilled water 1 L) and King's B (KB) medium (composition: Proteose peptone No. 3 20 g, Glycerol 10 mL, K_2HPO_4

Received: July 14, 2023; Accepted: September 1, 2023.
* Corresponding author, e-mail: yunsheng@tari.gov.tw
1 Assistant Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.
2 Associate Research Fellow, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

1.5 g, $MgSO_4$ 1.5 g, Agar 15 g, Distilled water 1L). On the NA medium, most colonies were initially circular with smooth margins and appeared oyster-white in color (Fig. 2A). The bacterium was then purified and isolated through a series of dilutions of the bacterial suspension from a single colony, followed by streaking on KB medium. Moreover, the isolated bacteria exhibited fluorescent pigments on KB medium after 48 h of incubation at 25℃ (Fig. 2B), confirming that the bacterium isolated in this study belongs to the *Pseudomonas* genus.

The pathogenicity test for the isolated bacterium was conducted by spraying the water suspension (approximately 4–5 × 10^8 colony-forming unit (CFU) mL^{-1}) onto the surfaces of healthy white *H. marmoreus* fruiting bodies, while fruiting bodies sprayed with sterilized water served as a negative control. The bacterial suspension was prepared by suspending the isolated bacterium in sterilized water after it had been grown in NB broth at 24℃ for 12 h on a rotary shaker (200 rpm; Orbital Shaking Incubator S300R, FIRSTEK™, New Taipei, Taiwan). A 10–15 mL bacterial suspension was

Fig. 1. Symptoms of brown blotch disease on white *Hypsizygus marmoreus*: (A) sample of infected fruiting bodies collected from cultivated farm located at Changhua, Taiwan; (B) fruiting bodies displaying yellow and water-soaked lesion 3–4 d after being inoculated with *Pseudomonas tolaasii*, and becoming brown blotched with sticky odor at 7 d; and (C) fruiting bodies sprayed with sterile water (negative control).

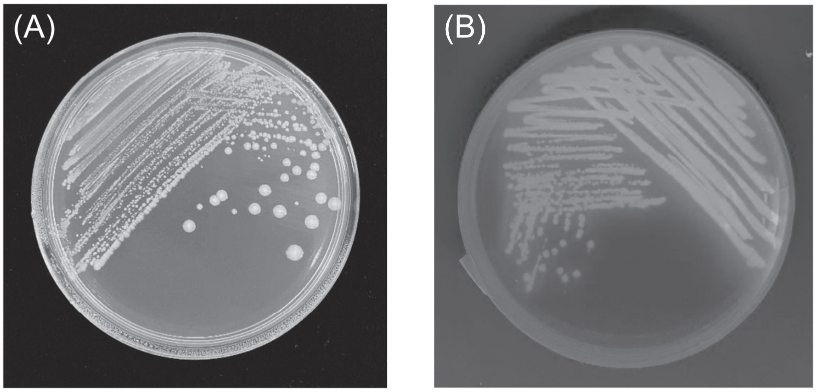

Fig. 2. Colony morphology of *Pseudomonas tolaasii*: (A) *P. tolaasii* cultured on nutrient agar (NA) appeared as white and circular colony; and (B) on King's B medium, the colonies produced yellow-green fluorescence.

evenly sprayed on each of two tested fruiting body samples, with at least three fruiting bodies in each sample. The inoculated fruiting bodies were then incubated at 13℃ with a relative humidity of 92% for one day. Subsequently, one of the tested samples was maintained at 13℃ with a relative humidity of 92%, while the other sample was transferred to an incubator at 20℃ with the same relative humidity as the former. Assays were conducted two times. Following the inoculation, water-soaked symptoms were observed on the first treated sample 3–4 d after the procedure. The affected fruiting bodies then turned yellow and eventually rotted (Fig. 1B). After 7 d, the inoculated fruiting bodies had become rotten with an unpleasant odor. Similar symptoms were also observed on the inoculated fruiting bodies of the second sample. In contrast, the negative control consisting of healthy fruiting bodies treated with sterilized water remained asymptomatic (Fig. 1C). The results of the pathogenicity test clearly conform to Koch's postulates. Additionally, the 16S rRNA gene of the isolated bacterium was amplified by using universal primers fDI and rDI (Weisburg *et al*. 1991) and sequence analysis via National Center for Biotechnology Information (NCBI) Nucleotide to Nucleotide Basic Local Alignment Search Tool (BLASTn) indicated a high sequence identity with *Pseudomonas tolaasii* (query coverage of 99%, identity of 99.71%, e-value of 0), supporting its preliminary identification as *P. tolaasii*.

P. tolaasii has been reported to cause bacterial blotch diseases in various mushrooms, including *Agaricus bisporus*, *Cordyceps militaris*, *Flammulina filiformis*, *H. marmoreus*, and *Pleurotus ostreatus* in China, leading to brown blotch lesions (Han *et al*. 2012; Osdaghi *et al*. 2019; Liu *et al*. 2022). This study represents the first report of bacterial diseases in white *H. marmoreus* in Taiwan. Further surveys of *Pseudomonas* sp. damages in other *H. marmoreus* cultivated farms in Taiwan are warranted. Additionally, the effectiveness of hypochlorous acid-containing water, and various environmental disinfectant in controlling the pathogen need to be tested to develop an effective disease control strategy.

REFERENCES

Han, H. S., C. S. Jhune, J. C. Cheong, J. A. Oh, W. S. Kong, J. S. Cha, and C. J. Lee. 2012. Occurrence of black rot of cultivated mushrooms (*Flammulina velutipes*) caused by *Pseudomonas tolaasii* in Korea. Eur. J. Plant Pathol. 133:527–535. doi:10.1007/s10658-012-9941-4

Liu, Z., Y. Zhao, F. L. Sossah, B. A. Okorley, D. G. Amoako, P. Liu, H. Sheng, D. Li, and Y. Li. 2022. Characterization, pathogenicity, phylogeny, and comparative genomic analysis of *Pseudomonas tolaasii* strains isolated from various mushrooms in China. Phytopathology 112:521–534. doi:10.1094/PHYTO-12-20-0550-R

Osdaghi, E., S. J. Martins, L. Ramos-Sepulveda, F. R. Vieira, J. A. Pecchia, D. M. Beyer, T. H. Bell, Y. Yang, K. L. Hockett, and C. T. Bull. 2019. 100 years since Tolaas: Bacterial blotch of mushrooms in the 21st century. Plant Dis. 103:2714–2732. doi:10.1094/PDIS-03-19-0589-FE

Weisburg, W. G., S. M. Barns, D. A. Pelletier, and D. J. Lane. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. J. Bacteriol. 173:697–703. doi:10.1128/jb.173.2.697-703.1991

首次報導 *Pseudomonas tolaasii* 導致台灣白精靈菇細菌性褐菇病

余祥萱[1] 呂昀陞[2,*]

摘要

余祥萱、呂昀陞。2023。首次報導 *Pseudomonas tolaasii* 導致台灣白精靈菇細菌性褐菇病。台灣農業研究 72(4):359–362。

白精靈菇是台灣常見的商業化栽培品種之一，以太空包栽培白色鴻喜菇而聞名 (白精靈菇)。於 2023 年 3 月，從彰化縣白精靈菇栽培業者處採集子實體樣本，其菌柄底部表面出現黃褐化、呈水浸狀病徵，並且有細菌菌泥流出。進一步使用營養培養基 (nutrient agar; NA) 與 King's B (KB) 培養基進行分離純化。在 NA 培養基上，所得的分離株呈乳黃色且表面光滑之圓形菌落。而在 KB 培養基上則產生黃綠色螢光色素。經由將所得分離株以噴霧方式重新接種於市售外觀健康的白精靈菇體，結果出現黃白色水浸狀病斑，且病斑隨時間擴大。接種後 7 d，罹病部分出現大面積褐化與腐爛現象，同時散發惡臭，顯示所分離之細菌對白精靈菇具有病原性。進一步鑑定此病原菌，本研究對該菌之 16s rDNA 進行增幅並進行序列分析後，初步鑑定該菌為 *Pseudomonas tolaasii* Paine。依據柯霍式法則與核酸序列分析結果可確認，白精靈菇細菌性褐菇病係由 *P. tolaasii* 所引起。本篇為國內首次報導 *P. tolaasii* 導致白精靈菇細菌性褐菇病之發生，未來將持續調查其他菇場之發生情形，同時也將探討以次氯酸水等環境消毒劑防治本病害之可行性，以找尋本病害之病害管理方法。

關鍵詞：白精靈菇、細菌性褐菇、*Pseudomonas tolaasii*。

投稿日期：2023 年 7 月 14 日；接受日期：2023 年 9 月 1 日。
[*] 通訊作者：yunsheng@tari.gov.tw
[1] 農業部農業試驗所植物病理組助理研究員。台灣 台中市。
[2] 農業部農業試驗所植物病理組副研究員。台灣 台中市。

台灣農業研究

(原《中華農業研究》期刊)

第七十二卷　目次

第一期

研究報告

陳純葳、傅愈肴、蔡佳欣、林宗俊	白菜細菌性軟腐病生物防治潛力菌株的篩選與評估	1
陳烈夫、呂秀英、李如萍	行政院農業委員會電子文獻資源體系之績效評估研究	13
蘇俊峯、賴佩鴻、簡蘭懿、黃晉興、林宗俊、謝廷芳	由*Colletotrichum orchidophilum*引起的蛾形文心蘭炭疽病	25
李雅琳、劉威廷、洪子桓、林素月、何奕漢、李穎甫、張家華、陳秋樺、張蓓容	不同乾燥方法對油茶籽油品質與其機能成分之影響	39
林筑蘋、蔡志濃、安寶貞、陸明德	比較分離自葡萄園之*Colletotrichum* spp.菌株對葡萄之致病力	49
吳永培、黃雅依、周思儀、廖大經	稉型水稻新品種「台農86號」之育成	63

第二期

研究報告

梁鈺平、倪蕙芳	不同亞磷酸配方對酪梨之藥害程度、亞磷酸吸收及根腐病防治效果之影響	81
林思妤、王昭月、陳涵葳、李承彬、林大鈞、杜元凱	雙重酶切DNA定序技術應用於番椒種原基因體分析	97
賴思倫、鍾淨惠、邱健誠、簡祥庭、戴廷恩	盆花文心蘭生理檢測模式之建立	113

林振男、彭宗仁、王博軒、林毓雯、劉滄棽	利用化學計量分析區分農產品之來源——以茶葉與大蒜為例	127
吳容儀、蔡宇玟、戴廷恩	以光週期進行藍紫色狐狸尾蝴蝶蘭屬*Rhynchonopsis* Tariflor Blue Kid ‘1030-4’ 花期調節之研究	151
許健輝、林毓雯、楊博鈞、莊淞麟、鄭佳怡、莊愷瑋	以GGE 雙軸圖評估水稻糙米鎘濃度之品種變異性及其環境交感效應	161

第三期

專題論述

王怡雯、陳涵葳、游舜期、王昭月、林大鈞	多重基因編輯於作物精準育種之應用	181

研究報告

李奇峰、Michael F. Geiser	瘦金花蟲屬 (*Phola* Weise, 1890) 的分類回顧 (鞘翅目：金花蟲科：金花蟲亞科)	197
陳柏宏、梁鈺平、倪蕙芳	台灣本土白殭菌於咖啡果小蠹之田間自然感染率及菌株篩選	219
陳怡菁、楊純明、邱凱瑩	比較高壓靜電場不同強度及時間處理對不同品種砧木茄子種子之影響	237
陳怡菁、楊純明、邱凱瑩	不等滲調處理濃度對不同品種砧木茄子種子在低溫發芽之影響	255
黃巧雯、黃晋興、李怡靜、陳純葳、賴思倫、謝廷芳	小花蕙蘭假球莖腐敗病菌感染途徑之研究	267

第四期

專題論述

賴柏羽、黃毓斌、董耀仁、吳立心、黃守宏	因應氣候變遷之台灣水稻蟲害管理策略調適	277

黃晉興、林筑蘋、黃巧雯、蔡志濃、安寶貞	台灣作物疫病菌種類與其寄主範圍	289

研究報告

林柏文、張淑貞、李艷琪、陳琦玲、石憲宗	少根紫萍 (*Landoltia punctata*) 在養豬放流水中的生長評估	317
關政平、江瑩娟、蕭崇仁、曾清山	探討基因轉殖水稻稻稈殘體對土壤微生物相的影響	333
董耀仁、楊婉秀、許北辰、李奇峰、曾美容、張仁育、陳琦玲、石憲宗	台灣慣行與有機農作環境中瓢蟲種類組成差異	343

研究簡報

余祥萱、呂昀陞	首次報導*Pseudomonas tolaasii*導致台灣白精靈菇細菌性褐菇病	359

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

(Formerly Journal of Agricultural Research of China)

Contents of Volume 72

Number 1

Research Articles

Chun-Wei Chen, Yu-Yao Fu, Chia-Hsin Tsai, and Tsung-Chun Lin	Screening and Evaluation of the Potential Bacterial Antagonists for Controlling the Bacterial Soft Rot of Chinese Cabbage	1
Lit-Fu Chan, Hsiu-Ying Lu, and Ru-Ping Lee	Research on Performance Evaluation of Electronic Literature Resource System at Council of Agriculture, Executive Yuan	13
Jiunn-Feng Su, Pei-Hung Lai, Lan-Yi Chien, Jin-Hsin Huang, Tsung-Chun Lin, and Ting-Fang Hsieh	The Occurrence of *Psychopsis* Anthracnose Caused by *Colletotrichum orchidophilum* in Taiwan	25
Ya-Lin Lee, Wei-Ting Liu, Tzu-Huan Hung, Su-Yue Lin, Yi-Han Ho, Ying-Fu Lee, Chia-Hua Chang, Chiu-Hua Chen, and Pei-Jung Chang	Influence of Drying Methods of Camellia Seeds on the Quality and Bioactive Ingredients of the Pressed Oils	39
Chu-Ping Lin, Jyh-Nong Tsai, Pao-Jan Ann, and Ming-Te Lu	Virulence of *Colletotrichum* spp. from Different Isolating Source in Grape Orchards was Compared on Grape	49
Yong-Pei Wu, Ya-Yi Huang, Szu-Yi Chou, and Dah-Jing Liao	Breeding of New Japonica Rice Cultivar ‘Tainung 86’	63

Number 2

Research Articles

Yu-Ping Liang and Hui-Fang Ni	The Effect of Different Phosphite Spray Formulas on Phytotoxicity and Phosphite Uptake of Avocado and Control Efficacy against *Phytophthora* Root Rot	81
Ssu-Yu Lin, Jau-Yueh Wang, Cheng-Bin Li, Han-Wei Chen, Da-Gin Lin, and Yuan-Kai Tu	The Application of Double-Digest Restriction-Site Associated DNA Sequencing Technology in Pepper Germplasm	97
Szu-Lun Lai, Ching-Hui Chung, Jian-Cheng Ciou, Hsiang-Ting Jian, and Ting-En Dai	Establishment of Physiological Detection Model for Potted *Oncidium*	113
Jhen-Nan Lin, Tsung-Ren Peng, Po-Hsuan Wang, Yu-Wen Lin, and Tsang-Sen Liu	Apply Chemometrics Approach to Differentiate the Geographical Origin of Agricultural Products: Case Studies of Tea and Garlic	127
Jung-Yi Wu, Yu-Wen Tsai, and Ting-En Dai	Study on Flowering Regulation of *Rhynchonopsis* Tariflor Blue Kid ‘1030-4’ by Photoperiodism	151
Chien-Hui Syu, Yu-Wen Lin, Bo-Jiun Yang, Sung-Lin Chuang, Chia-Yi Cheng, and Kai-Wei Juang	Using GGE Bi-Plot to Evaluate Paddy Genotypic Variation in Cd Concentrations of Brown Rice and Interaction with Environmental Effects	161

Number 3

Feature Article

Yi-Wen Wang, Han-Wei Chen, Shuen-Chi You, Jau-Yueh Wang, and Da-Gin Lin	Application of Multiple Gene Editing in Plant Precision Breeding	181

Research Articles

Chi-Feng Lee and Michael F. Geiser	Taxonomic Review of the Genus *Phola* Weise, 1890 (Coleoptera: Chrysomelidae: Chrysomelinae)	197
Po-Hung Chen, Yu-Ping Liang, and Hui-Fang Ni	Natural Occurrence and Selection of *Beauveria bassiana* Isolates in Coffee Berry Borers in Taiwan	219
Yi-Jing Chen, Chwen-Ming Yang, and Kai-Ying Chiu	Effects of Different Intensities and Time Treatments of High-Voltage Electrostatic Field on the Seed Germination of Varied Varieties of Rootstock Eggplant	237
Yi-Jing Chen, Chwen-Ming Yang, and Kai-Ying Chiu	Effects of Different Concentrations of Osmotic Treatment on the Seed Germination of Varied Varieties of Rootstock Eggplant at Low Temperature	255
Chiao-Wen Huang, Jin-Hsing Huang, Yi-Ching Li, Chun-Wei Chen, Szu-Lun Lai, and Ting-Fang Hsieh	Study on the Pathway of Infection by Pathogen of Oriental Cymbidiums Pseudobulb Rot	267

Number 4

Feature Articles

Po-Yu Lai, Yu-Bing Huang, Yaw-Jen Dong, Li-Hsin Wu, and Shou-Horng Huang	Climate Change Mitigation Strategies of Rice Insect Pests in Taiwan	277
Jin-Hsing Huang, Chu-Ping Lin, Chiao-Wen Huang, Jyh-Nong Tsai, and Pao-Jen Ann	*Phytophthora* Species in Taiwan and Their Host Range: A Review	289

Research Articles

Bo-Wen Lin, Shu-Chen Chang, Yahn-Chir Lee, Chi-Ling Chen, and Hsien-Tzung Shih	Growth Evaluation of Dotted Duckmeat (*Landoltia punctata*) Cultivated in Swine Wastewater	317
Cheng-Ping Kuan, Ying- Chuan Chiang, Chung-Jen Hsiao, and Ching-Shan Tseng	Exploring the Impact of Transgenic Rice Straw Decomposition on Soil Microbial Composition	333
Yaw-Jen Dong, Wan-Hsiu Yang, Pei-Chen Hsu, Chi-Feng Lee, Mei-Jung Tseng, Jen-Yu Chang, Chi-Ling Chen, and Hsien-Tzung Shih	Differences in Lady Beetle Species Composition between Conventional and Organic Farming Environments in Taiwan	343

Short Communication

Shiang-Shiuan Yu and Yun-Sheng Lu	First Report of *Pseudomonas tolaasii* Causing Bacterial Brown Blotch of White *Hypsizygus marmoreus* in Taiwan	359

台 灣 農 業 研 究

作者索引

Michael F. Geiser	218
王怡雯	181
王昭月	97, 181
王博軒	127
石憲宗	317, 343
安寶貞	49, 289
江瑩娟	333
何奕漢	39
余祥萱	362
吳永培	63
吳立心	277
吳容儀	151
呂秀英	13
呂昀陞	362
李如萍	13
李奇峰	218, 343
李怡靜	267
李承彬	97
李雅琳	39
李穎甫	39
李艷琪	317
杜元凱	97
周思儀	63
林大鈞	97, 181
林宗俊	1, 25
林思妤	97
林柏文	317
林振男	127
林素月	39
林筑蘋	49, 289
林毓雯	127, 161
邱健誠	113
邱凱瑩	237, 255
洪子桓	39
倪蕙芳	96, 219
張仁育	343
張家華	39
張淑貞	317
張蓓容	39
梁鈺平	96, 219
莊淞麟	161
莊愷瑋	161
許北辰	343
許健輝	161
陳怡菁	237, 255
陳柏宏	219
陳秋樺	39
陳烈夫	13
陳純葳	1, 267
陳涵葳	97, 181
陳琦玲	317, 343
陸明德	49
傅愈肴	1
彭宗仁	127
曾美容	343
曾清山	333
游舜期	181
黃巧雯	267, 289
黃守宏	277
黃晉興	25, 267, 289
黃雅依	63
黃毓斌	277
楊純明	237, 255
楊婉秀	343

楊博鈞	161
董耀仁	277, 343
廖大經	63
劉威廷	39
劉滄棽	127
蔡宇玟	151
蔡志濃	49, 289
蔡佳欣	1
鄭佳怡	161
蕭崇仁	333
賴佩鴻	25
賴思倫	113, 267
賴柏羽	277
戴廷恩	113, 151
謝廷芳	25, 267
鍾淨惠	113
簡祥庭	113
簡蘭懿	25
關政平	333
蘇俊峯	25

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

(Formerly Journal of Agricultural Research of China)

Authors Index

Ann, Pao-Jan 61, 316
Chan, Lit-Fu 24
Chang, Chia-Hua 48
Chang, Jen-Yu 358
Chang, Pei-Jung 48
Chang, Shu-Chen 332
Chen, Chi-Ling 332, 358
Chen, Chiu-Hua 48
Chen, Chun-Wei 11, 275
Chen, Han-Wei 112, 196
Chen, Po-Hung 236
Chen, Yi-Jing 253, 265
Cheng, Chia-Yi 179
Chiang, Ying- Chuan 342
Chien, Lan-Yi 37
Chiu, Kai-Ying 253, 265
Chou, Szu-Yi 80
Chuang, Sung-Lin 179
Chung, Ching-Hui 126
Ciou, Jian-Cheng 126
Dai, Ting-En 126, 160
Dong, Yaw-Jen 287, 358
Fu, Yu-Yao 11
Geiser, Michael F. 197
Ho, Yi-Han 48
Hsiao, Chung-Jen 342
Hsieh, Ting-Fang 37, 275
Hsu, Pei-Chen 358
Huang, Chiao-Wen 275, 316
Huang, Jin-Hsin 37
(see also Huang, Jin-Hsing 275, 316)
Huang, Jin-Hsing 275, 316
(see also Huang, Jin-Hsin 37)
Huang, Shou-Horng 287
Huang, Ya-Yi 80
Huang, Yu-Bing 287
Hung, Tzu-Huan 48
Jian, Hsiang-Ting 126
Juang, Kai-Wei 179
Kuan, Cheng-Ping 342
Lai, Pei-Hung 37
Lai, Po-Yu 287
Lai, Szu-Lun 126, 275
Lee, Chi-Feng 197, 358
Lee, Ru-Ping 24
Lee, Yahn-Chir 332
Lee, Ya-Lin 48
Lee, Ying-Fu 48
Li, Cheng-Bin 112
Li, Yi-Ching 275
Liang, Yu-Ping 81, 236
Liao, Dah-Jing 80
Lin, Bo-Wen 332
Lin, Chu-Ping 61, 316
Lin, Da-Gin 112, 196
Lin, Jhen-Nan 149
Lin, Ssu-Yu 112
Lin, Su-Yue 48
Lin, Tsung-Chun 11, 37
Lin, Yu-Wen 149, 179
Liu, Tsang-Sen 149
Liu, Wei-Ting 48

Lu, Hsiu-Ying 24
Lu, Ming-Te 61
Lu, Yun-Sheng 359
Ni, Hui-Fang 81, 236
Peng, Tsung-Ren 149
Shih, Hsien-Tzung 332, 358
Su, Jiunn-Feng 37
Syu, Chien-Hui 179
Tsai, Chia-Hsin 11
Tsai, Jyh-Nong 61, 316
Tsai, Yu-Wen 160
Tseng, Ching-Shan 342
Tseng, Mei-Jung 358
Tu, Yuan-Kai 112
Wang, Jau-Yueh 112, 196
Wang, Po-Hsuan 149
Wang, Yi-Wen 196
Wu, Jung-Yi 160
Wu, Li-Hsin 287
Wu, Yong-Pei 80
Yang, Bo-Jiun 179
Yang, Chwen-Ming 253, 265
Yang, Wan-Hsiu 358
You, Shuen-Chi 196
Yu, Shiang-Shiuan 359

台 灣 農 業 研 究

關鍵詞索引

Colletotrichum fructicola	49
Colletotrichum orchidophilum	25
Colletotrichum tropicale	49
Colletotrichum viniferum	49
GGE雙軸圖	161
Pseudomonas tolaasii	362
土壤微生物	333
大蒜	127
小果油茶籽	39
小花蕙蘭	267
分類學	218
化學計量分析	127
反應曲面法	113
引文分析	13
文心蘭	113
日長	151
水楊酸	255
水稻	63, 161, 277, 333
「台農86號」	63
台灣	277
平均發芽時間	237
生物防治	1, 219
生物復育	317
白菜	1
白精靈菇	362
白殭菌	219
光合作用	113
全文下載量	13
全株量測	113
同源基因	181
多重基因編輯	181
成本效益	13
有機農耕	343
低溫	255
牡荊屬	218
亞磷酸	96
咖啡果小蠹	219
油脂品質	39
油脂氧化安定性	39
油茶籽乾燥條件	39
芽孢桿菌	1
金花蟲	218
長期生態研究	343
品種與環境交感	161
炭疽病	25
疫病	289
疫病菌	289
致病力	49
茄子種子	237
修飾混合法	63
唇形科	218
展著劑	96
島嶼生物學	218
根腐病	96
栽培種	161
氣候變遷	277
浮萍	317
砧木茄子	255
茶葉	127
高壓靜電場	237
假球莖腐敗病	267
基因轉殖作物	333
基因體分析	97
寄主	289

產期調節 151
產源判別率 127
異屬雜交 151
細菌性軟腐病 1
細菌性褐菇 362
循環農業 317
替代蛋白 317
番椒 97
發芽百分比 237
發病生態 267
粳稻 63
葡萄晚腐病 49
蛾形文心蘭 25
農業樣區 343
酪梨 96
電子文獻資料庫 13
慣行農耕 343
滲漏電導度 237
滲調處理 255
種子發芽 255
精準育種 181
數量性狀基因 181
稻稈 333
機能性成分 39
瓢蟲 343
績效評估指標 13
簡化基因體定序 97
蟲害管理 277
鎘 161
雙重限制酶 97
藥害 96
蘭花 151
鐮孢病菌 267

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

(Formerly Journal of Agricultural Research of China)

Key Words Index

Adjuvant 81
Agricultural monitoring stations 358
Alternative proteins 332
Anthracnose 37
Avocado 81
Bacillus 11
Bacterial brown blotch 359
Bacterial soft rot 11
Beauveria bassiana 236
Bioactive ingredients 48
Biocontrol 11
Biological control 236
Bioremediation 332
Cadmium 179
Camellia brevistyla seed 48
Capsicum 112
Chemometrics 149
Chinese cabbage 11
Circular agriculture 332
Citation analysis 24
Climate change 287
Coffee berry borer 236
Colletotrichum fructicola 61
Colletotrichum orchidophilum 37
Colletotrichum tropicale 61
Colletotrichum viniferum 61
Conventional cultivated 358
Cost-effectiveness 24
Cultivar 179
Cymbidium 275
Daylength 160
Discriminant rate of geographical origin 149
Disease ecology 275
Double-digest restriction enzyme 112
Duckweed 332
Eggplant seed 254
Electronic literature database 24
Flowering regulation 160
Full-text downloads 24
Fusarium oxysporum 275
Garlic 149
Genome analysis 112
Germination percentage 254
GGE bi-plot 179
Grape ripe rot 61
High-voltage electrostatic field 254
Homologous genes 196
Host 316
Interaction between genotype and environment 179
Intergenus-hybridization 160
Island biogeography 197
Japonica rice 80
Lady beetle 358
Lamiaceae 197
Leaf beetle 197
Leakage conductivity 254
Long term ecological research 358
Low temperature 265
Mean germination time 254
Modified bulk method 80
Multiple gene editing 196
Oil oxidative stability 48

Oil quality 48
Oil seed drying method 48
Oncidium 126
Orchid 160
Organic cultivated 358
Osmotic treatment 265
Paddy rice 179
Performance index 24
Pest management 287
Phosphite 81
Photosynthesis 126
Phytophthora 316
Phytophthora root rot 81
Phytotoxicity 81
Plant diseases 316
Precision breeding 196
Pseudobulb rot 275
Pseudomonas tolaasii 359
Psychopsis 37
Qryza sativa 'Tainung 86' 80
Quantitative trait genes 196
Reduced genome sequencing 112
Response surface methodology 126
Rice 80, 287, 342
Rice straw 342
Rootstock eggplant 265
Salicylic acid 265
Seed germination 265
Soil bacterial community 342
Taiwan 287
Taxonomy 197
Tea 149
Transgenic crop 342
Virulence test 61
Vitex 197
White *Hypsizygus marmoreus* 359
Whole-plant measurement 126

台灣農業研究　評閱者名單

第 72 卷 (2023)

王强生
國立中興大學農藝學系

王智立
國立中興大學植物病理學系

皮宏偉
國立中興大學土壤環境科學系

石信德
農業試驗所植物病理組

石憲宗
農業試驗所應用動物組

江博能
國立台灣大學森林環境暨資源學系

吳文哲
國立台灣大學昆蟲學系暨研究所

吳東鴻
農業試驗所作物組

李雅琳
農業試驗所遺傳資源與生物技術組

杜平悳
嘉南藥理大學食品科技系

林志鳳
世新大學資訊傳播學系

林宗俊
農業試驗所植物病理組

林宜賢
國立屏東科技大學植物醫學系

林維怡
國立台灣大學農藝學系

施明智
中國文化大學保健營養學系

段中漢
農業藥物試驗所農藥應用組

段淑人
國立中興大學昆蟲學系

洪爭坊
國立中興大學植物病理學系

倪蕙芳
農業試驗所嘉義分所植物保護系

張正
國立中興大學園藝學系

張宗仁
美國喬治亞大學植物病理學系

許奕婷
國立中興大學農藝學系

許富鈞
國立台灣大學園藝暨景觀學系

陳俊廷
世新大學資訊傳播學系

陳彥銘
國立中興大學園藝學系

陳昶霖
國立中興大學園藝學系

陳凱儀
國立台灣大學農藝學系

陳榮坤
台南區農業改良場

彭金騰
農業試驗所植物病理組

曾鈺茜
國立嘉義大學農藝學系

黃守宏
農業試驗所嘉義分所植物保護系

黃健瑞
國立嘉義大學植物醫學系

黃麗芬
元智大學生物科技與工程研究所

劉力瑜
國立台灣大學農藝學系暨研究所

劉瑞芬
國立台灣大學植物病理與微生物學系

潘怡君
國立中興大學園藝學系

蔡志濃
農業試驗所植物病理組

蔡育彰
國立台灣大學農藝學系

鄭明倫
國立自然科學博物館生物學組

鄭舒允
國立中興大學農藝學系

蕭巧玲
農業試驗所作物組

謝奉家
農業藥物試驗所資材研發組

鍾光仁
國立中興大學植物病理學系

簡士濠
國立屏東科技大學水土保持系

蘇俊峯
農業試驗所植物病理組

Reviewers, Journal of Taiwan Agricultural Research
Volume 72, 2023

Chang, Chen
Department of Horticulture, National Chung Hsing University

Chang, Chung-Jan
Department of Plant Pathology, University of Georgia, USA

Chen, Chang-Lin
Department of Horticulture, National Chung Hsing University

Chen, Kai-Yi
Department of Agronomy, National Taiwan University

Chen, Rong-Kuen
Tainan District Agricultural Research and Extension Station

Chen, Shu-Yun
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Chen, Yen-Ming
Department of Horticulture, National Chung Hsing University

Chiang, Po-Neng
School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University

Chung, Kuang Ren
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Duan, Chung-hang
Division of Pesticide Application, Agricultural Chemicals Research Institute

Duh, Pin-Der
Department of Food Science & Technology, Chia Nan University of Pharmacy and Science

Hong, Cheng-Fang
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Hsiao, Chiao-Ling
Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute

Hsieh, Feng-Chia
Division of Product Development, Agricultural Chemicals Research Institute

Hsu, Fu-Chiun
Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University

Hsu, Yi-Ting
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Huang, Li-Fen
Graduate School of Biotechnology and Bioengineering, Yuan Ze University

Huang, Shou-Horng
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Jeng, Ming-Luen
Department of Biology, National Museum of Natural Science

Jien, Shih-Hao
Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology

Lee, Ya-Lin
Division of Crop Genetic Resources and Biotechnology, Taiwan Agricultural Research Institute

Lin, Wei-Yi
Department of Agronomy, National Taiwan University

Lin, Tsung-Chun
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Liou, Ruey-Fen
Department of Plant Pathology and Microbiology, National Taiwan University

Liu, Li-Yu
Department of Agronomy, National Taiwan University

Pan, I-Chun
Department of Horticulture, National Chung Hsing University

Peng, Jin-Torng
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Pi, Hong-Wei
Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University

Shi, Ming-Zhi
Department of Nutrition and Health Science, Chinese Culture University

Shih, Hsien-Tzung
Division of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute

Shih, Hsin-Der
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Su, Jiunn-Feng
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Tsai, Yu-Chang
Department of Agronomy, National Taiwan University

Tseng, Yu-Chien
Department of Agronomy, National Chiayi University

Tuan, Shu-Jen
Department of Entomology, National Chung Hsing University

Wang, Chan-Sen
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Wang, Chih-Li
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Wu, Dong-Hong
Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute

Wu, Wen-Jer
Department & Graduate Institute of Entomology, National Taiwan University

Editorial Board

Editor-in-Chief

Hsieh, Ting-Fang
Office of the Secretary General, Taiwan Agricultural Research Institute

Deputy Editor-in-Chief

Shih, Hsien-Tzung
Division of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute

Editors

Ann, Pao-Jen
Division of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute

Chang, Ruey-Jang
Agricultural Chemicals Research Institute

Chang, Yung-Ho
Department of Food and Nutrition, Providence University

Chen, Chien-Chung
Division of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute

Chen, Chiling
Division of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute

Chen, Iou-Zen
Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University

Chen, Suming
Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University

Chung, Wen-Hsin
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Do, Yi-Yin
Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University

Hou, Feng-Nan
Department of Entomology, National Chung Hsing University

Huang, Biing-Wen
Department of Applied Economics, National Chung Hsing University

Huang, Chao-Chia
Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute

Huang, Jenn-Wen
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Huang, Yuh-Ming
Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University

Juang, Kai-Wei
Department of Agronomy, National Chiayi University

Ku, Hsin-Mei
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Kuo, Bau-Jeng
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Lin, Huey-Ling
Department of Horticulture, National Chung Hsing University

Lin, Yann-Rong
Department of Agronomy, National Taiwan University

Liu, Li-Yu
Department of Agronomy, National Taiwan University

Lu, Hsiu-Ying
Miaoli District Agricultural Research and Extension Station

Lu, Kuang-Hui
Department of Entomology, National Chung Hsing University

Tsay, Jyh-Rong
Taiwan Agricultural Research Institute

Tzou, Yu-Min
Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University

Wang, Chan-Sen
Department of Agronomy, National Chung Hsing University

Yang, Chwen-Ming
Department of Post Modern Agriculture, MingDao Unviersity

Yang, Jeng-Tze
Department of Entomology, National Chung Hsing University

Yen, Gow-Chin
Department of Food Science and Biotechnology, National Chung Hsing University

English Editorial Board

Chang, Chung-Jan
Department of Plant Pathology, University of Georgia, USA

Chung, Kuang-Ren
Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University

Wang, Yin-Tung
Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University, USA

Yang, Chin-Cheng Scotty
Department of Entomology, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA

Editorial Assistants

Huang, Yu-Chun
Editorial Office of Journal of Taiwan Agricultural Research

Wang, Li-Jung
Editorial Office of Journal of Taiwan Agricultural Research

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

Vol. 72 No. 4 December 31, 2023

Published by Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture

Publisher	Hsueh-Shih Lin
Editor-in-Chief	Ting-Fang Hsieh
Address	No.189, Zhongzheng Rd., Wufeng Dist., Taichung City 413008, Taiwan, ROC
Website	https://www.tari.gov.tw/jtar; E-mail: jtar@tari.gov.tw; Tel: +886-4-2331-7236
Submission	https://www.ipress.tw/J0042
	Complete instructions to authors are available on Journal of Taiwan Agricultural Research website: https://www.tari.gov.tw/jtar/
Press	Ainosco Press
Address	18F, No.80, Sec.1, Chenggong Rd., Yonghe Dist., New Taipei City 234634, Taiwan, ROC
Tel	+886-2-2926-6006
E-mail	press@airiti.com
Price	NT$ 175 (per copy)
Distributor	1. GB Books / 1F., No.209, Songjiang Rd., Taipei City 104472, Taiwan, ROC GB Website: http://www.govbooks.com.tw; Tel: +886-2-2518-0207 2. Wunan Books / No.6, Zhongshan Rd., Taichung City 400002, Taiwan, ROC; Tel: +886-4-2226-0330